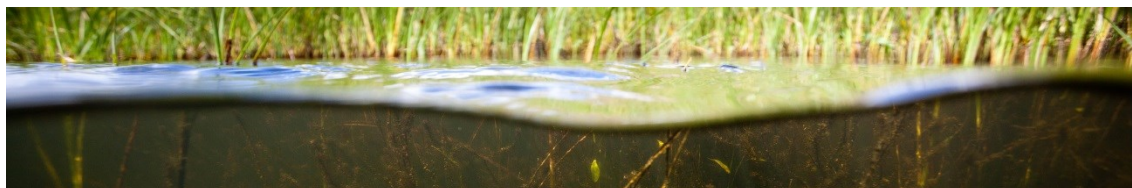
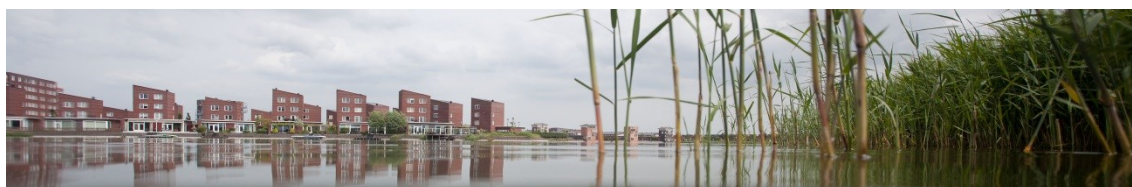
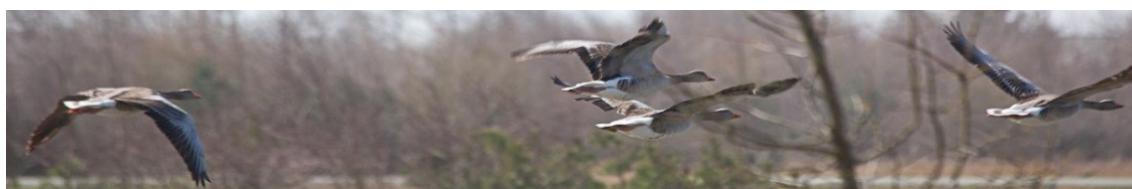


BlauwZaam

Pilot drukdrainage Alblasserwaard-Vijfheerenlanden

Effecten op waterkwaliteit



BlauwZaam

Pilot drukdrainage Alblasserwaard-Vijfheerenlanden

Effecten op waterkwaliteit

Opdrachtgever: BlauwZaam, Rolia Wiggelinkhuijsen
Auteur(s): Nico Jaarsma
Rapportnummer: ALB01-1
Datum: 10 april 2024
Status: definitief

Nico Jaarsma
Klif 25
1797AK Den Hoorn (Texel)
Tel: 06-24208176
www.nicojaarsma.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doel	3
1.3 Hypothese ten aanzien van de vraag	3
1.4 Aanpak	7
1.5 Leeswijzer	7
2 Kenmerken pilots en pilotgebieden	9
2.1 Korte beschrijving pilots	9
2.1.1 Proefopzet en metingen	9
2.1.2 Hydromorfologische kenmerken	11
3 Resultaten	13
3.1 Effect van drukdrainage op waterstromen	13
3.2 Effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit	15
3.2.1 Karakterisering van de waterkwaliteit in de pilots	15
3.3 Patronen in waterkwaliteit in relatie tot drukdrainage	17
3.3.1 Sulfaat als indicator voor oxidatieprocessen	19
3.3.2 Overige parameters	21
3.3.3 Ionenratio en IR-EGV	32
3.4 Stofbelasting	34
4 Synthese	37
4.1 Waterbalans	38
4.2 Waterkwaliteit	38
4.2.1 Sulfaat en pyrietoxidatie	38
4.2.2 Ecologische relevantie van sulfaat	39
4.2.3 Verzuring, buffering en calciumuitspoeling	39
4.2.4 Start pilot met erfenis van droge zomer 2018	39
4.2.5 Verschil drukdrainage en referentie	39
4.2.6 Effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit	40
4.3 Conclusies en aanbevelingen	41
4.3.1 Conclusies ten aanzien van de hypothese	41
4.3.2 Conclusies ten aanzien van de effecten op de waterkwaliteit	42
4.3.3 Aanbevelingen	42

Literatuur	43
Bijlage I - Waterbalansen	44
Bijlage II – Controle waterbalans	48

Samenvatting

Dit rapport gaat over de effecten van drukdrainage op de oppervlaktewaterkwaliteit. Het is gebaseerd op de analyse van meetgegevens van drie proeflocaties in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, over de periode 2021 t/m 2023. In de proeven, met per locatie één proefperceel met drukdrainage én verhoogd slootpeil en één referentieperceel, zijn in- en uitgaande waterstromen voor het oppervlaktewater bepaald en is de waterkwaliteit van de perceelsslotten gemeten. Per proeflocatie zijn de waterstromen en de waterkwaliteit voor de situatie met- en zonder drukdrainage met elkaar vergeleken.

Uit de analyse blijkt dat drukdrainage leidt tot een toename van de waterstromen in de perceelsslotten, met name in de zomer. De inlaat van (rivier)water is in de sloten van de percelen met drukdrainage tot drie à vier keer zo hoog als in de situatie zonder drukdrainage (referentie). Ook neemt de afvoer van perceelwater naar het oppervlaktewater toe, vooral in de winter, maar ook in de zomer. In de zomer neemt de verblijftijd van het water in de sloten met drukdrainage af, tot circa de helft of éénderde van de verblijftijd in de referentiesloten.

Bij het effect van drukdrainage op de waterkwaliteit is onderscheid gemaakt in het effect op de stofconcentraties (het gehalte van een stof in slootwater) en het effect op de stofbelasting (de aanvoer van een stof) van de sloten.

Een eenduidig effect van drukdrainage op de concentraties van stoffen is binnen de onderzoeksperiode niet gevonden. Logische verschillen tussen drukdrainage en referentie zijn er soms wel, maar vaak ook niet. Bovendien zijn de patronen niet voor alle pilots gelijk. Opgemerkt moet worden dat de meetperiode drie jaar omvatte en dat voor bepaling van effecten op waterkwaliteit op de (middel)lange termijn langer en daarnaast ook soms anders gemeten moet worden.

Het effect van drukdrainage op de stofbelasting van de sloten geeft wel een duidelijk beeld. In vrijwel alle gevallen neemt de belasting toe, vooral in de zomer. Voor een belangrijk deel komt dat door de toename van de inlaat van rivierwater. Voor een deel ook doordat er meer grondwater wordt afgevoerd. Dit geldt voor de korte termijn, voor de lange termijn is de vraag hoe de kwaliteit van het bodemvocht en grondwater in de percelen onder invloed van drukdrainage zal veranderen. De hogere belasting door inlaatwater is echter blijvend.

De toegenomen toevoer van nutriënten (voedingsstoffen zoals fosfor en stikstof) in de zomerperiode vormt een risico. Hierdoor kan een eventuele nutriëntenlimitatie wordt opgeheven, wat kan leiden tot overmatige planten- en algengroei. Bovendien worden ook andere stoffen zoals bicarbonaat en sulfaat aangevoerd, die de afbraak van organisch materiaal (o.a. veen) in de waterbodem stimuleren. Ook dit kan leiden tot een toename van nutriëntenbeschikbaarheid en via een toename van de waterhardheid tot negatieve effecten op de vegetatie in de sloten.

De verwachting is dat drukdrainage op langere termijn leidt tot minder veenafbraak (door zuurstof) en daarmee tot een lagere nutriënten- en sulfaatspoeling uit de percelen. Of dit zal gebeuren is echter onzeker, het inbrengen van (rivier)water met een andere chemische samenstelling kan ook leiden tot meer anaerobe afbraak (door nitraat of sulfaat). Op dat vlak zijn er nog veel vragen. Ook de bodemsamenstelling is van belang. De verschillen in het aandeel klei tussen de pilotgebieden zijn waarschijnlijk niet alleen van invloed op de huidige waterkwaliteit, maar ook op de effecten van drukdrainage op de (toekomstige) waterkwaliteit. Dit verdient nadere aandacht.

Ten slotte wordt aanbevolen om de metingen te blijven voortzetten. De meetperiode in de pilots is relatief kort, verwacht mag worden dat de langetermijneffecten pas na enige jaren zichtbaar worden. Bovendien was er gedurende de meetperiode op alle locaties sprake van een trend in de waterkwaliteit, die zich pas eind 2023 leek te stabiliseren. Ook is de aanbeveling om tijdens kortdurende pieken in aan- en afvoer in het veld te gaan meten aan stofconcentraties.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de pilot 'drukdrainage Alblasserwaard-Vijfheerenlanden' wordt onderzocht in hoeverre drukdrainage bodemdaling en CO₂-uitstoot kan verminderen, wat de gevolgen zijn voor de waterkwaliteit en natuurwaarden en in hoeverre dit kansen oplevert voor een duurzame melkveehouderij. In het kader van dit project zijn enkele percelen van de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden ingericht met een systeem voor drukdrainage en enkele delen gekozen als referentie. Wateraan- en -afvoer vindt plaats via afgedamde sloten. In beide situaties worden gegevens verzameld over de waterkwaliteit, de waterstromen en de ecologie (waterplanten). Nico Jaarsma is gevraagd de tijdens de pilot verzamelde gegevens te analyseren en hierover een korte rapportage (notitie) op te stellen.

1.2 Doel

Het doel is om de tijdens de pilot verzamelde gegevens, van waterkwaliteit, vegetatie en hydrologie, in samenhang te analyseren. Het achterliggende doel is om een inschatting te geven van het effect van drukdrainage op de fysisch-chemische- en ecologische kwaliteit van het oppervlaktewatersysteem.

1.3 Hypothese ten aanzien van de vraag

Alvorens de gegevens te analyseren is eerst een hypothese opgesteld over het effect van drukdrainage op de waterstromen en de te verwachten korte- en langetermijneffecten op de waterkwaliteit en ecologie. Hiervoor is het van belang om niet alleen te kijken naar de eventuele veranderingen in gehalten van relevante stoffen, maar ook naar de 'belasting'. De belasting is de hoeveelheid van een stof die per tijdseenheid wordt aangevoerd, vaak uitgedrukt per oppervlakte-eenheid water; voor fosfor (P) wordt dit bijvoorbeeld uitgedrukt als mgP/m²/dag. Stoffen worden meestal aangevoerd via waterstromen zoals inlaat, uitspoeling of neerslag. De belasting wordt dan berekend door het debiet te vermenigvuldigen met de concentratie.

Tabel 1-1 geeft de verwachte effecten weer, hieruit is op te maken dat verwacht wordt dat de debieten van uit- en afspoeling en inlaat zullen toenemen door drukdrainage. Hoewel op korte termijn onzeker is wat drukdrainage betekent voor de kwaliteit van het uit- en afspoelende water, wordt verwacht dat de belasting van het watersysteem met nutriënten en macro-ionen zal toenemen. Op lange termijn wordt juist verwacht (en beoogd) dat drukdrainage de veenafbraak zal remmen. De hypothese is dan dat de kwaliteit van uit- en afspoeling zal verbeteren. Hoe de belasting van het watersysteem hierdoor zal veranderen is de vraag, onderstaand wordt dit nader toegelicht.

Tabel 1-1 Verwachte effecten van drukdrainage op de water- en stofstromen naar het oppervlaktewater in de pilots. Effecten zijn weergegeven voor het debiet, de stofconcentratie en de bijdrage van de belangrijkste inkomende waterstromen aan de belasting van het watersysteem. Daarbij staat + voor een toename (van debiet, concentratie of belasting), - voor een afname, 0 voor geen verandering en ? voor onbekend. Onderscheid is gemaakt in stoffen (nutriënten, macro-ionen en ijzer) en effecten op korte-en lange termijn

	neerslag	uitspoeling	afspoeling	inlaat
debiet waterstromen	0	+	+	+
waterkwaliteit korte termijn (gehalten)				
<i>nutriënten (N en P)</i>	0	?	?	0
<i>macro-ionen en ijzer (Cl, Ca, HCO₃, SO₄, Fe)</i>	0	?	?	0
waterkwaliteit lange termijn (gehalten)				
<i>nutriënten (N en P)</i>	0	-	-	0
<i>macro-ionen en ijzer (Cl, Ca, HCO₃, SO₄, Fe)</i>	0	-	-	0

belasting watersysteem korte termijn (mg/m²/dag)				
nutriënten (N en P)	0	+	+	+
macro-ionen en ijzer (Cl, Ca, HCO ₃ , SO ₄ , Fe)	0	+	+	+
belasting watersysteem lange termijn (mg/m²/dag)				
nutriënten (N en P)	0	?	?	+
macro-ionen en ijzer (Cl, Ca, HCO ₃ , SO ₄ , Fe)	0	?	?	+

Effecten op waterstromen

Op de effecten op de waterstromen is ook door Eertwegh en van Deijl (2022) al uitgebreid ingegaan. Daar ligt de focus echter vooral op de percelen, waarvoor geldt dat de in- en uitgaande stromen door drukdrainage toenemen. Omdat er in droge perioden actief water de percelen in wordt gepompt, neemt de toevoer van oppervlaktewater naar de percelen vooral 's zomers toe. Hierdoor stijgt de grondwaterstand (ofwel zakt deze minder ver uit). Wanneer er vervolgens een natte periode volgt, kan er juist weer een toename van uit- en afspoeling optreden, ook 's zomers. Voor bepaalde systemen geldt dat het ook mogelijk is om ook actief de grondwaterstand te verlagen (door via het drainagesysteem uit te pompen). Dit kan zowel 's zomers als 's winters tot extra uitgaande waterstromen (de percelen uit) leiden.

Bezien vanuit het watersysteem (perceelsloten) zijn de uitgaande posten van de percelen juist inkomend en andersom. Voor de oppervlaktewaterkwaliteit ligt de focus op de inkomende waterstromen¹, de belangrijkste zijn dan: directe neerslag, uit- en afspoeling van de percelen en inlaat (kwel is niet beschouwd). Onder invloed van drukdrainage veranderen deze als volgt:

- Uitspoeling (of afvoer via het drainagesysteem) neemt toe;
- Afspoeling (of oppervlakkige afvoer via greppels) neemt toe;
- Inlaat neemt toe.

De grootste effecten op de inlaat treden op gedurende droge (zomer)perioden, wanneer er water de percelen wordt ingepompt. In natte perioden (in de zomer) zal er mogelijk meer uit- en afspoeling plaatsvinden doordat de bodem voor een groter deel waterverzadigd is. De verwachte effecten in de winter zijn gering.

Waterkwaliteitseffecten op korte termijn

De effecten op korte termijn worden naar verwachting vooral gestuurd door de veranderingen in waterstromen. Hierdoor neemt de relatieve bijdrage van neerslag af en nemen de debieten van uit- en afspoeling en inlaat toe. Omdat er in de zomerperiode meer inlaatbehoefte is, wordt verwacht dat de waterkwaliteit eerder in het seizoen en in sterkere mate op die van het inlaatwater (rivierwater) gaat lijken. Aan het einde van de zomer/in het najaar mag worden verwacht dat er vanwege de hogere grondwaterstanden eerder uit- en afspoeling optreedt. Wat het effect hiervan is op de waterkwaliteit, hangt af van de samenstelling van het uitspoelende grondwater (zie **kader**).

Afgezien van de onzekerheden over de korte-termijneffecten op de grondwaterkwaliteit, is de verwachting dat drukdrainage leidt tot een toename van de debieten en daarmee van de belasting van het watersysteem met stoffen (o.a. N en P). Het leidt ook tot een andere verhouding van waterstromen en een andere chemische samenstelling. Dit laatste kan worden geïllustreerd aan de hand van IR-EGV diagrammen (zie aanpak).

¹ Dit is omdat met de inkomende waterstromen ook de stoffen worden aangevoerd, debiet en concentratie hiervan bepalen samen de belasting van het watersysteem met stoffen (o.a. nutriënten en macro-ionen). Tevens zijn inkomende waterstromen bepalend voor de verblijftijd van het water (T in dagen, gedefinieerd als volume/debiet per dag).

Effect van drukdrainage op grondwatersamenstelling en -kwaliteit

De vraag is hoe de kwaliteit van uitspoelende grondwater op korte- en lange termijn verandert onder invloed van drukdrainage. Duidelijk is dat het aandeel oppervlaktewater in de percelen toeneemt, zonder drukdrainage is intrek gering en vormen neerslag (en kwel) meestal het grootste aandeel.

Hoe de kwaliteit hierdoor zal veranderen is eigenlijk op voorhand niet te zeggen, omdat er allerlei complexe biogeochemische processen plaatsvinden in de bodem. Deze zijn afhankelijk van de grondwaterstand, omdat ze ofwel in aanwezigheid of juist afwezigheid van zuurstof plaatsvinden. Juist bij afwisselend onverzadigde (zuurstofhoudende, aerobe) en verzadigde (zuurstofloze, anaerobe) condities, kunnen veel processen een rol spelen/gaan optreden die elkaar in tijd en ruimte afwisselen. Belangrijk zijn o.a. (Bloemendaal & Roelofs, 1988; Van Diggelen et al, 2020):

- Afbraak van organisch materiaal (o.a. veen, organische mest) onder zuurstofrijke omstandigheden;
- Oxidatie van pyriet (FeS_2) onder zuurstofrijke of nitratrijke omstandigheden, hierbij komt naast sulfaat (SO_4^{3-}) in eerste instantie ook gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) vrij, wat eventueel kan worden geoxideerd tot ijzerhydroxide. Deze processen zijn sterk verzurend. Afhankelijk van de zuurgraad en aanwezige bufferstoffen, zoals bicarbonaat en calciumcarbonaten, wordt dit zuur vervolgens geneutraliseerd. Hierbij komt een vergelijkbare hoeveelheid calcium (+ magnesium) vrij (zie kader op volgende pagina uit Van Diggelen et al, 2020);
- Afbraak van organisch materiaal onder zuurstofloze omstandigheden door o.a. nitraat (NO_3^-), ijzer (Fe^{3+}) en/of sulfaat (SO_4^{2-}).

Globaal geldt dat de processen onder zuurstofrijke (aerobe) omstandigheden verzurend zijn; er komt zuur (H^+) bij vrij. De afbraak kan door die verzuring worden geremd. De anaerobe processen zijn juist zuur-consumerend, hierbij wordt bicarbonaat (HCO_3^-) geproduceerd, wat zorgt voor buffering en pH stijging.

Bij de afbraak van organisch materiaal in de percelen komen nutriënten (PO_4 en NH_4) en CO_2 vrij, deze kunnen via de uitspoeling in het oppervlaktewater terecht komen. IJzer en sulfaat spelen een cruciale rol bij zowel de anaerobe afbraakprocessen als bij de binding van fosfaat. Een overmaat aan ijzer (ten opzichte van zwavel) is gunstig, enerzijds zorgt dit voor binding (vastlegging) van fosfaat in de (water)bodem en anderzijds voorkomt een overmaat aan ijzer het optreden van sulfidetoxiciteit in de waterbodem.

De resulterende grondwaterkwaliteit -en daarmee de oppervlaktewaterkwaliteit- is dus in belangrijke mate afhankelijk van de processen in de bodem. Drukdrainage kan deze beïnvloeden door:

- 1) Beïnvloeding van de grondwaterstand, waardoor een groter deel van de bodem waterverzadigd blijft en naar verwachting grotendeels anaerob;
- 2) Te zorgen voor een toename van de toevoer van stoffen via het oppervlaktewater naar het grondwater zoals zuurstof, sulfaat, nitraat en bicarbonaat, die van invloed zijn op (afbraak)processen in de bodem.

Het beoogde effect van drukdrainage is om op langere termijn de veenafbraak onder invloed van zuurstof te verminderen via (1). Een punt van zorg hierbij is de aanvoer van stoffen (2) die ook in de verzadigde zone kunnen zorgen voor het optreden van veenafbraak.

Waterkwaliteitseffecten op lange termijn

Door het inbrengen van oppervlaktewater in de percelen, veranderen er allerlei zaken. Zo blijven voorheen uitdrogende bodemlagen nu (jaarrond) verzadigd (en naar verwachting grotendeels zuurstofloos), waardoor de aerobe veenafbraak (onder invloed van zuurstof) wordt geremd. Maar er wordt nu oppervlaktewater ingebracht met o.a. NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- en zuurstof, wat een effect heeft op de anaerobe afbraak (onder zuurstofloze condities). Dit zijn complexe processen, die zich ook veelal op langere termijn afspelen. Sommige effecten zijn echter ook mogelijk al eerder zichtbaar. Zo is bijvoorbeeld een toename van de belasting van het watersysteem met ammonium goed denkbaar (vanwege de anaerobe condities in de bodem, waardoor ammonium niet wordt omgezet in NO_3^-). Er zal worden geprobeerd om op basis van meetgegevens, veldwaarnemingen en literatuur te duiden wat er nu al gebeurt en wat er naar verwachting in de toekomst zal gebeuren.

Effecten op de vegetatie

De veranderingen in waterstromen, waterstanden, verblijftijden, belasting en waterchemie kunnen ook van invloed zijn op de vegetatie. De meetperiode is echter kort en effecten op de vegetatie mogen alleen worden verwacht bij grote veranderingen in de standplaatscondities van de vegetatie. Lastig is dat er niet alleen drukdrainage is toegepast, maar dat dit is gecombineerd met een verhoging van het waterpeil. De vraag is of eventuele waargenomen veranderingen te relateren zijn aan drukdrainage of peilopzet en of dit wel te onderscheiden is van de natuurlijke (jaar-op-jaar) variatie.

De hypothese luidt daarom dat er géén merkbare veranderingen in de vegetatie zijn opgetreden.

Oxidatieprocessen in katteklei (pyriet)bodems

Oxidatie van pyriet kan volledig of onvolledig verlopen. Wanneer de oxidatie onvolledig verloopt, komt er behalve SO_4^{2-} ook relatief goed oplosbaar gereduceerd Fe^{2+} vrij (reactie 1); bij een volledige oxidatie wordt ook het gereduceerde Fe^{2+} geoxideerd tot immobiele Fe(III)hydroxides (reactie 1 en 2 samen) (Singer, 2010).

1. $\text{FeS}_2 + 7 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + 4 \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}^+$ (onvolledige oxidatie)
2. $\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 10 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 8 \text{H}^+$ (samen met (1) volledige oxidatie)

Uit de reactievergelijkingen (1) en (2) blijkt dat de oxidatie van pyriet tevens leidt tot de productie van zuur (protonen, H^+). Via bufferreacties in de bodem kan dit zuur worden geneutraliseerd waardoor er netto geen, of in minder sterke mate verzuring plaatsvindt (geen of minder grote afname van de pH). Deze bufferreacties vinden plaats in verschillende pH-ranges (naar Ulrich, 1981; Goulding, 2016); tussen pH 6,8-8 vindt er bicarbonaat (HCO_3^-)-buffering plaats (reactie 3), vanaf pH 7 en lager vindt er buffering plaats door het oplossen van calciumcarbonaten (reactie 4 en reactie 5), en tussen pH 4 - 6,8 is er sprake van kationuitwisseling vanaf het bodemadsorptiecomplex (reactie 6).

3. $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
4. $\text{CaCO}_3 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
5. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 4 \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
6. $]-\text{Ca}^{2+} + 2 \text{H}^+ \rightarrow]-2 \text{H}^+ + \text{Ca}^{2+}$

Pyriet-oxidatie leidt in eerste instantie dus tot de vorming van equivalente hoeveelheden SO_4^{2-} en $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, waarbij Ca^{2+} het dominante kation is dat zorgt voor de buffering (reactie 6).

Bron: Van Diggelen et al, 2020

1.4 Aanpak

Grote lijnen aanpak bepalen effecten van drukdrainage:

- In beeld brengen van waterstromen oppervlaktewatersysteem;
- Koppelen van meetgegevens van waterkwaliteit aan deze waterstromen;
- Bepalen van belastingen voor verschillende bronnen in verschillende situaties.

Interpretatie van resultaten balansen en meetgegevens.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving van de pilotgebieden gegeven. Er wordt ingegaan op de proefopzet, de meetlocaties en de hydro-morfologische kenmerken.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd en besproken. Eerst voor de hydrologie, dan voor de waterkwaliteit. Ten slotte voor de stofbelasting.

In hoofdstuk 4 worden de belangrijkste resultaten in samenhang bediscussieerd, worden conclusies getrokken over de (mogelijke) effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit en worden en aanbevelingen gedaan.

2 Kenmerken pilots en pilotgebieden

2.1 Korte beschrijving pilots

In de Alblasserwaard-Vijfheerenlanden doen drie agrariërs mee aan de pilots, dit zijn (Eertwegh en van Deijl, 2021):

- Peter Heikoop: biologische melkveehouderij;
- Mattias Verhoef: biologische melkveehouderij;
- Kees Baan: gangbare melkveehouderij.

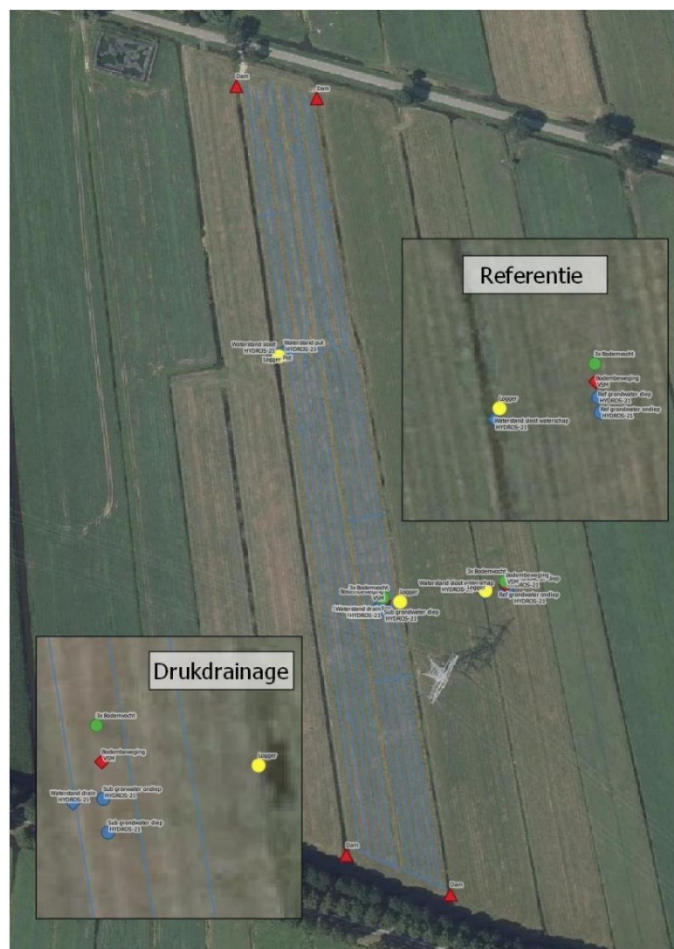
Het landgebruik betreft voor alle percelen permanent grasland. De bodem bestaat uit een teeltlaag, gevolgd door een venige kleilaag op veengrond, met een wisselende dikte van de venige kleilaag (15 à 20 cm). De percelen op de proeflocaties liggen veelal hol en hebben 1 tot 3 greppels. De drooglegging varieert bij winterpeil (WP) tussen 50 à 60 cm –m.v. Er worden zomerpeilen (ZP) gehanteerd die ongeveer 10 à 15 cm hoger zijn dan WP.

2.1.1 Proefopzet en metingen

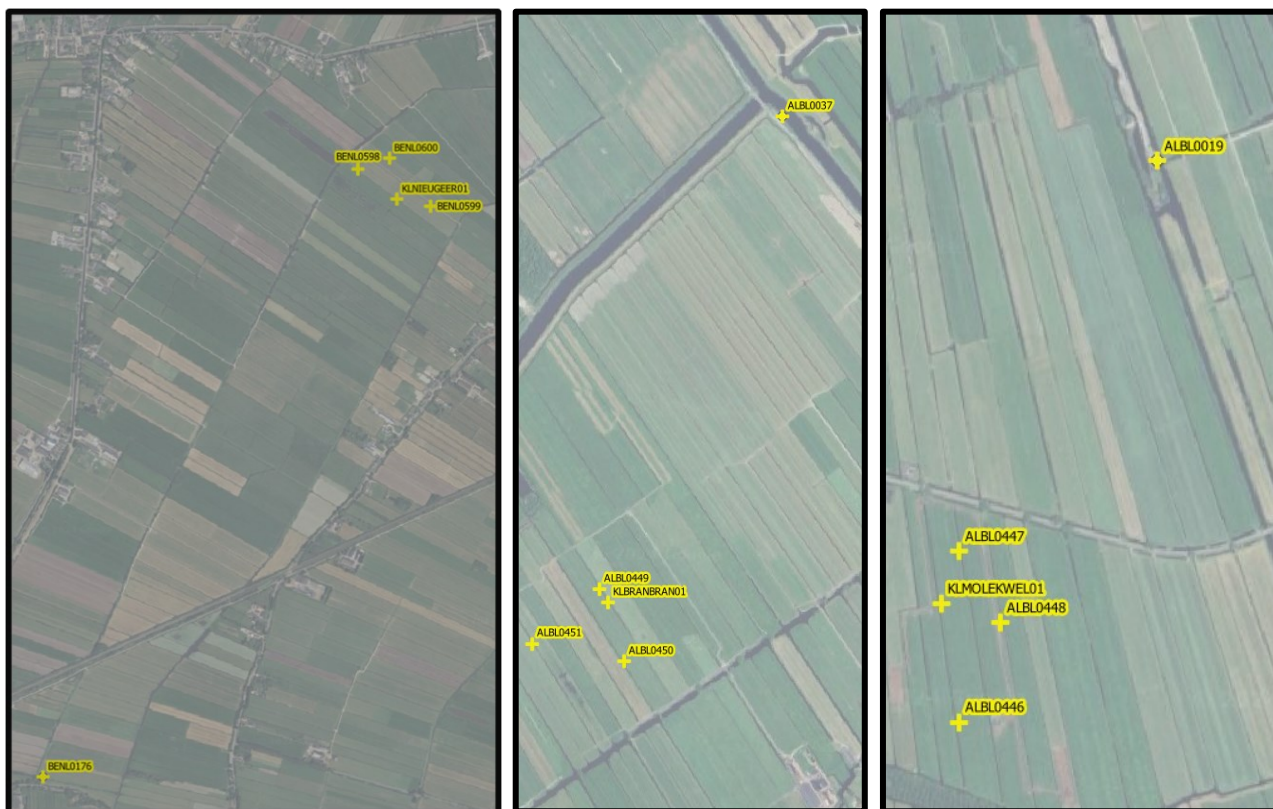
Er is per deelnemer één proefperceel ingericht met drukdrainage. Bij een watervraag vanuit het perceel (dalende grondwaterstand), pompt het systeem water uit de naastgelegen aanvoersloot het perceel in. Bij een wateroverschot kan er water het perceel worden uitgepompt (alleen bij Heikoop en Baan). In- en uitgaande debieten worden gemeten. De aanvoersloot is afgedamd en aan- (en afvoer)debieten worden eveneens gemeten. Het peil van de sloot is opgezet met circa 15 cm en wordt bemeten. In het perceel wordt de grondwaterstand gemeten. De sloot aan de andere zijde van het perceel met drukdrainage is eveneens afgedamd.

Bij elk van de drie proefpercelen is ook een nabijgelegen referentieperceel geselecteerd. Dit perceel staat onder invloed van de heersende polderpeilen. Grondwaterstanden worden bepaald door neerslag en verdamping, kwel en wegzijging en intrek, uit- en afspoeling, ze worden niet door drukdrainage beïnvloed. Ook hier worden oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstanden gemeten.

De figuur rechts laat de proefopzet zien voor deelnemer Baan. Voor meer informatie wordt verwezen naar (Eertwegh en van Deijl, 2021).



Naast de waterkwantiteit en (grond)waterpeilen worden door waterschap Rivierenland (WSRL) ook enkele waterkwaliteitsvariabelen gemeten. Dit betreft naast metingen op reguliere meetlocaties ook metingen specifiek voor de pilot. Onderstaande figuur geeft de meetlocaties per deelnemer weer.



Figuur 2-1 Ligging van de waterkwaliteitsmeetpunten voor de locaties Heikoop (links), Verhoef (midden) en Baan.

In Tabel 2-1 zijn de kenmerken van de meetlocaties weergegeven. Per deelnemer is er een meetpunt 'Omgeving' gekozen, dit is representatief voor het oppervlaktewater in de omgeving (inlaatwater). Verder zijn er meetpunten in de aanvoersloten van de drukdrainage (Drukdrainage-Put-sloot), in de afgedamde sloten aan de andere zijde van het perceel met drukdrainage (Drukdrainage-sloot) in de referentiesloten (Referentie) en een éénmalige meting op 4 maart 2022 van de kwaliteit van het grondwater in de put van het drukdrainagesysteem (Putwater).

Tabel 2-1 Overzicht van de meetpunten per deelnemer.

Deelnr Mp	Locatie	KRW	Bodem	X-coor	Y-coor	Type meetpunt	
Heikoop	BENL0176	Achterdijk - Achterdijk - Lang Nieuwlandsche Achterwetering	M1a	klei	129100	431738	Omgeving
	BENL0598	Achterdijk - Achterdijk - c-watergang	M08	veen	130436	434319	Drukdrainage_Put-sloot
	BENL0599	Achterdijk - Achterdijk - c-watergang	M08	veen	130743	434163	Drukdrainage-sloot
	BENL0600	Achterdijk - achterdijk - b-watergang	M08	veen	130569	434365	Referentie
	KLNIEUGEER01	Put_Heikoop	M08	veen	130602	434192	Putwater
Verhoef	ALBL0037	Brandwijk - Ammersekade - Ammersche boezem	M10	veen	116722	436026	Omgeving
	ALBL0449	Brandwijk - Brandwixsedijk - b-watergang	M08	veen	116290	434914	Drukdrainage_Put-sloot
	ALBL0450	Brandwijk - Brandwixsedijk - c-watergang	M08	veen	116348	434744	Drukdrainage-sloot
	ALBL0451	Brandwijk - Brandwixsedijk - c-watergang	M08	veen	116132	434786	Referentie
	KLBANBRAN01	Put_Verhoef	M08	veen	116311	434882	Putwater
Baan	ALBL0019	Bleskensgraaf - Zijweg Graafdijk west - Achterwetering	M10	veen	114749	430967	Omgeving
	ALBL0446	Bleskensgraaf - Kweldamweg - c-watergang	M08	veen	114395	429968	Drukdrainage_Put-sloot
	ALBL0447	Bleskensgraaf - Kweldamweg - c-watergang	M08	veen	114395	430272	Drukdrainage-sloot
	ALBL0448	Bleskensgraaf - Kweldamweg - c-watergang	M08	veen	114469	430145	Referentie
	KLMOLEKWEL01	Put_Baan	M08	veen	114364	430179	Putwater

2.1.2 Hydromorfologische kenmerken

Om het effect van de drukdrainage op de belastingen te bepalen, is het eerst nodig om het effect op de waterstromen te kwantificeren. Daarvoor zijn waterbalansen van de sloten opgesteld. Hiervoor zijn verschillende hydromorfologische kenmerken van de systemen nodig. Onderstaand worden deze besproken.

De pilots liggen in de Alblasserwaard (Baan en Verhoef) en in de Vijfheerenlanden (Heikoop). Ze liggen in veengebied met smalle verkaveling en een relatief groot aandeel oeverlengte en open water. Volgens Eertwegh en van Deijl (2021) zijn de proefpercelen voor drukdrainage circa 3-4 hectare groot (zie Tabel 2-2). Aangenomen is dat het aandeel open water in het gebied 10% is, hiermee is het wateroppervlak berekend (voor de pilots is dit wellicht een overschatting). In de tabel zijn verder nog de volgende kenmerken opgenomen:

- Gemiddelde waterdiepte, op basis van metingen van WSRL;
- Gemiddelde slootpeil, op basis van waterpeilregistraties tijdens de pilot;
- Peilmarge, afgeleid van de peilregistraties, maximale afwijking ten opzichte van het gemiddelde waterpeil;
- Maaiveldhoogte (mNAP). In het rapport van Eertwegh en van Deijl (2022) zijn (in de figuren met de grondwaterstanden ook) maaiveldhoogtes opgenomen. Deze worden in de balans gebruikt bij de grondwatermodellering, er wordt daarbij impliciet van uit gegaan dat de maximale grondwaterstand gelijk is aan de maaiveldhoogte;
- Minimum grondwaterstand, drukdrainage treedt in werking wanneer de grondwaterstand uitzakt tot beneden dit peil.

Tabel 2-2 Kenmerken van de pilotgebieden, DD = drukdrainage, Ref = referentieperceel.

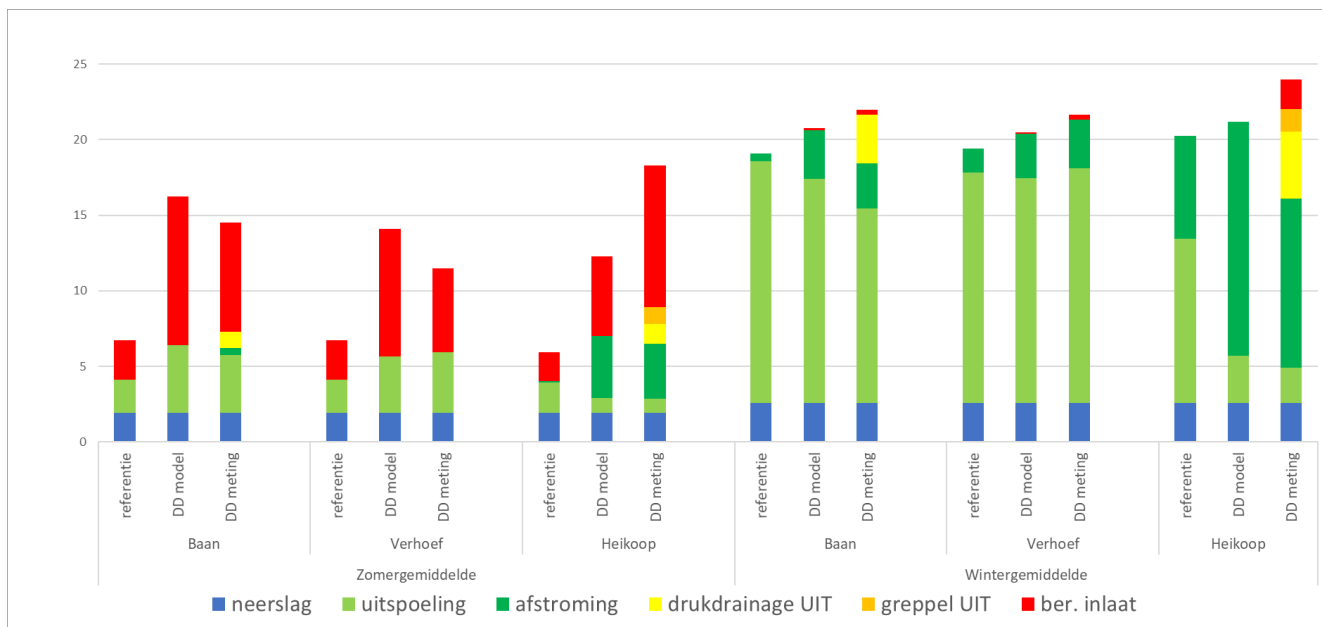
deelnemer	oppervlakte (m ²)		waterdiepte (m)		gem. slootpeil (mNAP)		peilmarge (m)		maaiveldhoogte (mNAP)		min GWS (mNAP)	
	perceel	water	DD	Ref	DD	Ref	zomer	winter	DD	Ref	DD	ref
Baan	29524	3280	0.39	0.30	-2.11	-2.24	0.05	0.05	-1.75	-1.70	-2.10	n.v.t.
Verhoef	26184	2909	0.27	0.21	-2.07	-2.14	0.05	0.05	-1.70	-1.70	-2.10	n.v.t.
Heikoop	37081	4120	0.30	0.22	-0.71	-0.88	0.1	0.1	-0.55	-0.55	-0.80	n.v.t.

3 Resultaten

3.1 Effect van drukdrainage op waterstromen

Om het effect van drukdrainage op de waterstromen te bepalen zijn waterbalansen opgesteld. Hiervoor is de STOWA waterbalansmodule gebruikt (<https://www.stowa.nl/waterbalans>), met de uitgangspunten uit Tabel 2-2. Verder zijn de neerslag- en verdampingsreeksen (referentiegewasverdamping Makkink) van het KNMI gebruikt van station 356 (Herwijnen). Kwel en wegzijging zijn niet beschouwd, deze posten zijn lastig te kwantificeren en naar verwachting qua debieten niet zeer belangrijk (Eertwegh en van Deijl, 2021). In totaal zijn er 9 balansen opgesteld, per deelnemer de volgende:

1. **Waterbalans voor de referentiesituatie;** waterstromen worden berekend op basis van neerslag en verdamping en de kenmerken van het watersysteem (zie Tabel 2-2);
2. **Waterbalans voor een gemodelleerde situatie met drukdrainage;** waterstromen worden berekend op basis van neerslag en verdamping en de kenmerken van het watersysteem (zie Tabel 2-2). Zodra de grondwaterstand echter beneden de minimum grondwaterstand zakt (respectievelijk -2,10 voor Baan en Verhoef en -0,80 voor Heikoop), wordt water vanuit de sloot het perceel ingepompt. Hierdoor neemt het watervolume in de sloot af en zakt het waterpeil, wat uiteindelijk tot inlaat leidt (tot het waterpeil weer binnen de aangegeven peilmarge komt). In het perceel neemt het grondwatervolume en daarmee de grondwaterstand toe, tot deze weer boven de minimum grondwaterstand stijgt;
3. **Waterbalans op basis van metingen in de situatie met drukdrainage;** verschil met de vorige balans (2) is dat hier wordt gerekend met de daadwerkelijk gemeten debieten van de pilots drukdrainage. De metingen van 'perceel IN' wordt 'hard opgedrukt' als water dat vanuit de sloot het perceel wordt ingepompt. 'Perceel UIT' wordt juist hard opgedrukt als afvoer vanuit het perceel naar de sloot (hetzelfde geldt voor 'Greppel UIT'). Overigens berekent de balans naast de in- en uitgaande stromen van de drukdrainage, uiteraard nog steeds uit- en afspoeling en intrek. De drijvende kracht voor deze posten is het (berekende) peilverschil tussen grond- en oppervlaktewater.

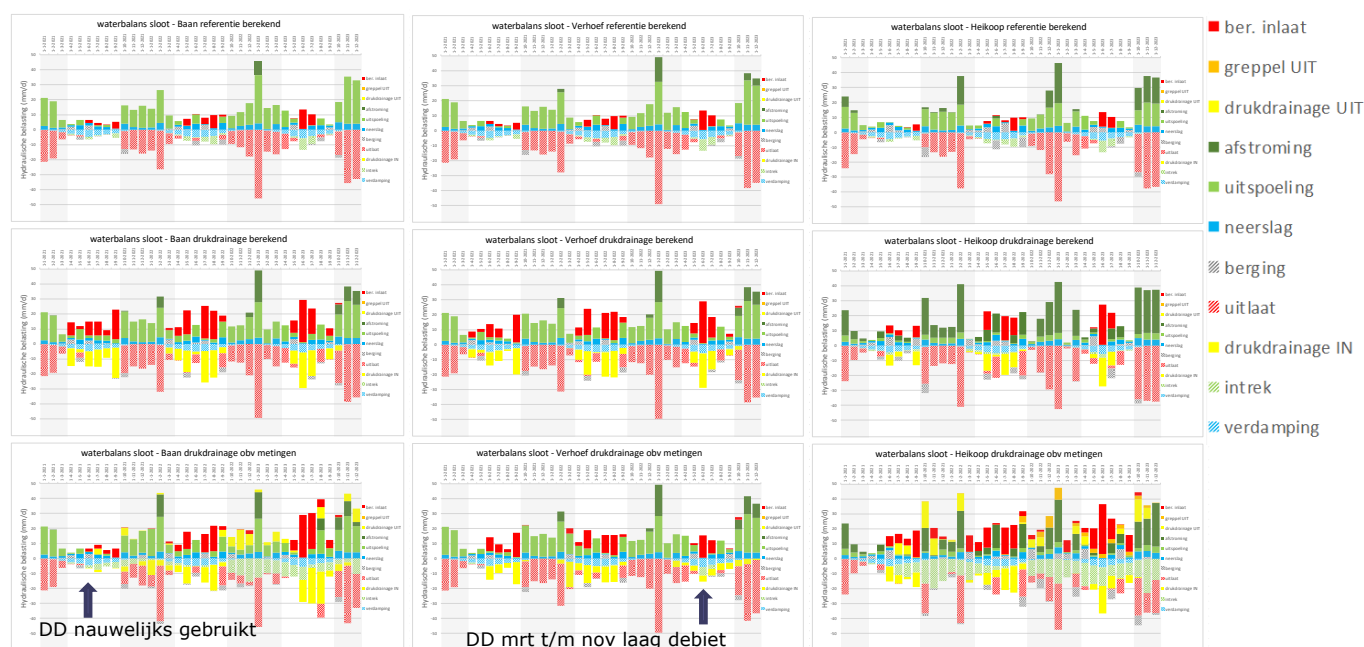


Figuur 3-1 Inkomende waterstromen op het watersysteem in mm/dag voor de referentiesituatie, de gemodelleerde situatie met drukdrainage en op basis van metingen in de pilots drukdrainage, per deelnemer. Links de zomergemiddelde situatie, rechts wintergemiddeld.

Figuur 3-1 geeft voor de periode 2021 t/m 2023 per deelnemer de inkomende waterstromen weer voor de drie balanssituaties, uitgesplitst naar zomer- en winterhalfjaar. Dit is uitgedrukt als het daggemiddelde

debiet in mm, voor het watersysteem (NB! Voor het aandeel water is uitgegaan van 10 % van het totale oppervlak). Uit de figuur is op te maken dat er vooral duidelijke effecten zijn van drukdrainage op de waterstromen in het zomerhalfjaar (mei – september), de effecten in het winterhalfjaar zijn relatief gering. Drukdrainage leidt in de zomer tot een toename van uit- en afspoeling en - vooral - inlaat. Volgens de modelberekeningen kan de hoeveelheid inlaatwater wel met een factor 4 toenemen. De totale waterstroom neemt met een factor 2-3 toe, wat betekent dat de verblijftijd van het water in de zomer wordt verkort, eveneens met factor 2-3.

Wat verder opvalt is dat de toename van inlaat die wordt gemodelleerd (DD model), voor Baan en Verhoef groter is dan wanneer er wordt uitgegaan van de metingen (DD meting). In het geval van Heikoop is dat juist andersom, de metingen suggereren dat er meer is ingelaten dan er volgens de balansberekening nodig was geweest. Om deze uitkomsten goed te kunnen duiden moet echter in meer detail naar de balansen worden gekeken. In Figuur 3-2 staan de maandwaarden van de in- en uitgaande waterstromen per situatie (inzoomen voor leesbare figuren), in [bijlage I](#) zijn de figuren in een groter formaat opgenomen.



Figuur 3-2 In en uitgaande waterstromen van de waterbalans op maandbasis voor Baan (links), Verhoef (midden) en Heikoop (rechts), voor de referentiesituatie (bovenste rij), DD-model (middelste rij) en DD meting (onderste rij).

Uit de figuren blijkt dat:

- Baan, met name in 2021, minder gebruik gemaakt lijkt te hebben van de drukdrainage dan verwacht. De grondwaterstand zakt dan af en toe ook uit tot beneden de NAP -2.10 die is aangehouden als ondergrens in de modellering;
- Verhoef, met name in 2023, een afwijkend pompbeheer lijkt te hebben gehad. Vanaf maart 2023-november 2023 lijkt er een vrij constante stroom via de drukdrainage het perceel in te gaan. Volgens de modelberekening was er vooral een grote 'watervraag' in de maanden mei, juni en juli (vooral in mei en juni was het erg droog). Ondanks het geringe debiet van de drukdrainage (perceel IN) in mei-juli, zakt de grondwaterstand niet zichtbaar uit, terwijl dat in het referentieperceel wel gebeurt. Dit is opvallend...;
- Er in het geval van Heikoop het meest is 'gestuurd' in de waterstromen door middel van drukdrainage, zowel IN als UIT. Dit leidt tot extra heen- en weergaande waterstromen. Bovendien laat de balans zien dat er hier sprake moet zijn van veel oppervlakkige afvoer (afstroming). Waarschijnlijk hangt dit samen

met de afvoer via het greppelsysteem, waar in de rapportage van Eertwegh en van Deijl (2021) ook op wordt ingegaan. De berekende hoeveelheid 'afstroming' is echter veel groter dan de gemeten waarde (greppel UIT).

Overigens komt de door de balans berekende post 'drukdrainage IN', op basis van de watervraag van de percelen orde grootte goed overeen met de gemeten debieten van de 'drukdrainage IN'. Dit geldt ook voor de inlaatdebieten en de oppervlaktewater- en grondwaterpeilen (zie [bijlage II](#)). Dit geeft vertrouwen dat de balans het systeem goed beschrijft en dat de balansposten realistisch zijn, ook voor de referentiesituatie. De balans helpt daarmee om inzicht te krijgen in de waterstromen in een situatie mét en zonder drukdrainage.

Ten slotte is te zien dat de verschillen in de totale waterstromen voor het winterhalfjaar relatief gering zijn. In alle gevallen wordt er in een situatie met drukdrainage een toename van circa 10-15% in waterstromen berekend. Ten opzichte van de effecten op de waterstromen in het zomerhalfjaar is dit gering. Dit geldt naar verwachting ook voor de waterkwaliteit, waar de belastingen in het zomerhalfjaar direct van invloed zijn op de waterkwaliteit en ecologie. De vraag is echter wat het effect van drukdrainage is op de kwaliteit van het grondwater dat uit de percelen komt, hierop wordt onderstaand ingegaan.

3.2 Effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit

Met de beschikbare meetgegevens van waterkwaliteit zal worden geprobeerd om het effect van drukdrainage op de waterkwaliteit in beeld te brengen. Om de meetgegevens op een juiste manier te kunnen interpreteren, wordt eerst naar de globale (zomer- en wintergemiddelde) oppervlaktewaterkwaliteit van de pilotgebieden gekeken. Elk gebied is namelijk anders qua geografische ligging, hoogteligging, bodemsamenstelling, hydrologie en daarmee samenhangend qua waterkwaliteit.

3.2.1 Karakterisering van de waterkwaliteit in de pilots

In Tabel 3-1 staan de zomer- en wintergemiddelde waarden van enkele waterkwaliteitsvariabelen van het oppervlaktewater in de pilots (referentiesloot, drukdrainage-Put-sloot, drukdrainage-sloot en omgeving). Het betreft achtereenvolgens macro-ionen (chloride, calcium, bicarbonaat en sulfaat), ijzer, zuurgraad, nutriënten (ortho-P, totaal-P, nitraat, ammonium en totaal-stikstof), zuurstof, chlorofyl-a, kroosbedekking, waterdiepte, doorzicht en doorzicht/diepte. Uit de tabel valt het volgende op te maken:

- De sloten in de pilots zijn, met 20-40cm, ondiep tot zeer ondiep. De waterdiepte is 's zomers iets hoger dan 's winters (het peil staat 's winters lager). De geringe waterdiepte is van invloed op de waterkwaliteit via opwarming en indamping, zuurstofdynamiek, verblijftijd en nalevering vanuit de waterbodem;
- Het water is (zeer) zoet, chloride is 's zomers wat hoger door indamping (en inlaat) en lager in de winter door neerslaginvloed;
- Calcium en bicarbonaat (HCO_3) zijn in het algemeen hoog, het water is sterk gebufferd ($\text{HCO}_3 > 2$ mmol/l). Uitzondering is Heikoop, waar het water in de drukdrainage sloten (DD-Put-sloot en DD-sloot) weliswaar een hoog calciumgehalte heeft, maar een duidelijk lager bicarbonaatgehalte heeft (matig gebufferd). De pH is hier ook het laagst en het water is licht zuur ($\text{pH} < 7$). Ook bij Heikoop is de DD-sloot licht zuur, maar deze heeft wel een hoog bicarbonaatgehalte;
- Sulfaatgehalten zijn opvallend hoog, in de winter ongeveer een factor 2 hoger dan in de zomer. Dit geldt voor alle locaties, maar de gehalten zijn vooral hoog bij Heikoop. Sulfaat komt vrij bij oxidatie van pyriet (FeS_2) in de bodem (zie kader in §1.3). Samen met de lage pH, lage bicarbonaat- en hoge calciumgehalten, wijzen de waterkwaliteitsmetingen in de drukdrainagesloot bij Heikoop het duidelijkst op pyrietoxidatie en het optreden van verzuring hierbij (zie ook Figuur 3-3). Bij Verhoef is het ook te zien in de DD_Put-sloot, met hoog SO_4 en een lage pH. Echter ook op de andere locaties wijzen

sulfaatgehalten op pyrietoxidatie, daar leidt het echter niet tot verzuring en laag bicarbonaat in het oppervlaktewater;

- Ook ijzergehalten (Fe) zijn bij Heikoop het hoogst, bij pyrietoxidatie komt ook ijzer vrij (zie kader in §1.3). Metingen van ijzer in oppervlaktewater zijn echter vaak maar beperkt informatief, omdat ijzer slecht oplost in water (neerslaat in aanwezigheid van zuurstof) en het water voor de analyse wordt gefilterd. IJzergehalten zijn dan ook in verhouding veel lager dan sulfaatgehalten. Het verdient aanbeveling om ijzergehalten in de land- en waterbodem te meten.
- Qua nutriëntengehalten wijkt de situatie bij Heikoop ook af. Hier worden de laagste PO₄, totaal-P en NO₃-gehalten gemeten. NH₄ en totaal-N zijn redelijk vergelijkbaar met Verhoef. De fosfaatgehalten bij Heikoop voldoen aan de KRW-norm voor (veen- en klei)sloten (zomergemiddeld totaal-P < 0.22 mgP/l). Bij Baan liggen ze net boven de norm (drukdrainage) tot 50% boven de norm (referentie). Bij Verhoef ligt vooral het P-gehalte in de drukdrainagesloot ruim boven de norm. Stikstof ligt met uitzondering van de DD-sloot bij Heikoop, in alle kleinere perceelsloten ruim boven de KRW-norm van 2.4 mgN/l. In de wateren in de omgeving zijn de gehalten 's zomers duidelijk lager (door processen, met name denitrificatie en/of inlaatwater);

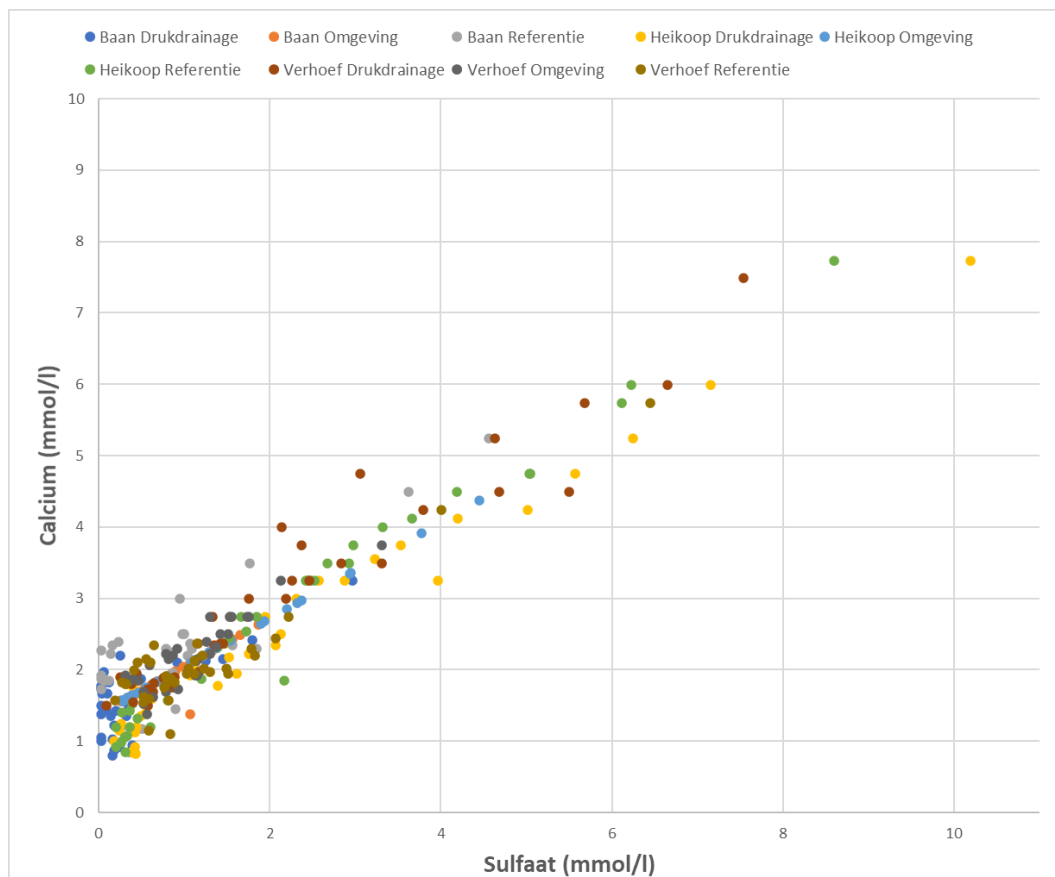
Tabel 3-1. Zomer- en wintergemiddelde waarden van enkele oppervlaktewaterkwaliteitsvariabelen van de pilotlocaties. Per deelnemer zijn de gegevens van het meetpunt in de referentiesloot, de drukdrainage-sloot en de omgeving weergegeven.

Naam	Omschrijving	Seizoen	Cl (mg/l)	Ca (mg/l)	HCO ₃ (mmol/l)	SO ₄ (mg/l)	Fe (µg/l)	pH (-)	PO ₄ (mgP/l)	P _{tot} (mgP/l)	sNO ₃ NO ₂ (mgN/l)	NH ₄ (mgN/l)	N _{tot} (mgN/l)	O ₂ (%)	CHLfa (µg/l)	KROOS (%)	WATDTE (m)	ZICHT (m)	ZICHT/DIEPTE (-)
Baan	Referentie	zomer	77	98	3.93	78	1380	7.42	0.16	0.36	0.07	0.23	4.81	52	17	12	0.33	0.32	0.96
		winter	50	98	3.16	132	3108	7.36	0.08	0.32	0.63	1.28	5.95	62	30	7	0.28	0.25	0.91
	DD_Put-sloot	zomer	89	87	3.68	53	1202	7.37	0.09	0.23	0.15	0.40	3.83	48	14	11	0.41	0.39	0.96
		winter	52	89	2.87	103	2597	7.31	0.09	0.26	0.58	0.91	5.53	66	77	5	0.37	0.34	0.93
	DD-sloot	zomer	62	67	2.98	25	2449	7.52	0.07	0.28	0.18	0.14	5.15	64	54	7	0.35	0.33	0.95
		winter	43	57	2.15	53	2677	7.53	0.04	0.22	0.29	0.25	5.22	75	93	5	0.34	0.32	0.94
Omgeving	zomer	87		3.83	50	783	7.79	0.14	0.31	0.13	0.23	2.55	70	40	6	1.62	0.81	0.50	
	winter	67		3.38	110	2529	7.74	0.05	0.24	0.90	1.28	4.64	74	52	5	1.49	0.49	0.33	
Verhoef	Referentie	zomer	62	88	3.27	96	1855	7.52	0.11	0.37	0.04	0.23	3.83	72	55	7	0.23	0.21	0.93
		winter	22	82	2.50	130	2382	7.21	0.10	0.27	0.37	1.48	4.85	64	34	5	0.20	0.18	0.88
	DD_Put-sloot	zomer	73	108	3.06	125	3193	7.47	0.18	0.53	0.04	0.34	4.16	61	35	21	0.21	0.19	0.92
		winter	55	144	2.46	286	6804	6.72	0.31	0.58	0.14	2.56	6.52	47	24	5	0.19	0.18	0.93
	DD-sloot	zomer	79	88	3.50	84	932	7.89	0.39	0.66	0.05	0.22	2.91	85	34	13	0.27	0.26	0.97
		winter	52	89	2.81	123	1979	7.48	0.14	0.36	0.71	1.04	4.42	73	51	5	0.26	0.24	0.92
Omgeving	zomer	78	79	3.46	68	313	7.87	0.05	0.13	0.20	0.10	1.77	76	17	5	1.53	1.11	0.72	
	winter	50	94	3.00	133	1929	7.62	0.03	0.18	1.35	0.56	3.77	69	25	5	1.47	0.62	0.42	
Heikoop	Referentie	zomer	59	79	2.45	130	1676	7.89	0.02	0.14	0.05	0.05	2.43	98	29	5	0.26	0.25	0.97
		winter	50	143	2.68	295	4848	7.31	0.02	0.20	0.36	0.90	3.46	79	20	5	0.18	0.16	0.89
	DD_Put-sloot	zomer	60	99	1.57	208	3557	7.34	0.01	0.10	0.06	0.13	3.27	91	27	5	0.33	0.26	0.79
		winter	53	117	1.13	297	8365	6.93	0.03	0.16	0.13	1.43	4.49	71	25	5	0.28	0.22	0.80
	DD-sloot	zomer	60	69	2.16	113	2880	7.78	0.02	0.09	0.05	0.10	2.23	99	18	5	0.33	0.25	0.78
		winter	55	135	1.49	327	17756	6.69	0.04	0.20	0.09	1.17	4.27	62	20	5	0.27	0.20	0.75
Omgeving	zomer	59		3.35	61	1552	7.68	0.02	0.14	0.12	0.19	2.07	64	28	5	1.03	0.55	0.53	
	winter	44		2.80	194	3517	7.52	0.02	0.16	0.54	1.01	3.46	73	30	5	0.98	0.39	0.39	

- Zuurstofgehalten zijn vooral 's zomers in de perceelsloten van Baan vaak laag, het optreden van lage zuurstofgehalten in veensloten is niet verwonderlijk bij een geringe waterdiepte. Bij Heikoop zijn 's zomers de gehalten in de perceelsloten echter juist hoog, rond 100% verzadiging. Wellicht dat ook vermindering van zuurstofuitwisseling door kroos (bij Baan) of juist zuurstofproductie door ondergedoken waterplanten (bij Heikoop) hier een rol in spelen.

- Tenslotte is de meetwaarde voor het doorzicht vaak laag, deze wordt echter beperkt door de waterdiepte (doorzicht kan niet groter zijn dan de waterdiepte). In de laatste kolom staat doorzicht gedeeld door waterdiepte, daar is te zien dat zicht in de perceelsslotsen meestal vrijwel gelijk is aan de waterdiepte. In het water in de omgeving is dit niet het geval.

In figuur 3.1 is nog eens te zien dat calcium en sulfaat een 1:1 relatie vertonen, wat wijst op de processen die optreden bij pyrietoxidatie (zie kader in §1.3).



Figuur 3-3. Relatie tussen calcium en sulfaat in het oppervlaktewater. Beide zijn uitgedrukt in mmol/l, hieruit blijkt dat - bij een toename van het sulfaatgehalte - het calciumgehalte evenredig toeneemt (verhouding 1:1). Dit wijst op het oplossen van calciumcarbonaat als gevolg van verzuring bij pyrietoxidatie.

3.3 Patronen in waterkwaliteit in relatie tot drukdrainage

De maandelijkse waterkwaliteitsmetingen maken het mogelijk om een vergelijking te maken tussen sloten mét drukdrainage en de referentiesloten. Voor de sloten met drukdrainage is er nog onderscheid in de 'drukdrainage-put-sloot', waarlangs inlaatwater en drainagewater wordt aan- en afgevoerd en de sloot aan de andere zijde van het perceel ('drukdrainage-sloot'). Per deelnemer zijn hieronder de belangrijkste waterkwaliteitsvariabelen uitgezet voor deze meetreeksen. Daarnaast is er een reeks 'debiet gewogen gemiddelde concentratie' in de figuren opgenomen, dit is de gewogen gemiddelde concentratie in de belasting. Deze is berekend per maand door per bron de inkomende waterstroom (zie Figuur 3-2) te vermenigvuldigen met de concentratie. Voor de concentraties is gebruik gemaakt van de volgende meetgegevens (zie ook Tabel 2-1) en aannames:

- Neerslag: referentiewaarden uit de STOWA-waterbalans voor Cl, P en N. Daarnaast is voor de verdeling van N in NH₄/NO₃ en voor SO₄ waarden gebruik gemaakt van een RIVM-rapport (<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680720005.pdf>);
- Inlaat: maandelijks waarde van het meetpunt in de omgeving;
- Uitspoeling: gemiddelde waarden per parameter van de wintermetingen in 2021 t/m 2023 in de referentiesloot, voor zowel de referentie als de situatie met drukdrainage. Idee hierachter is dat gewoonlijk 's winters de uitspoeling vanuit de belangrijkste bron is en processen in de winter op een laag pitje staan. Gekozen is voor de referentiesloot omdat die niet door drukdrainage wordt beïnvloed;
- Drukdrainage UIT: gebaseerd op de eenmalige metingen in de drukdrainage put (maart 2022);
- Afstroming: oppervlakkige afvoer via afspoeling of greppels, dit is gewoonlijk een fractie van de uitspoeling, in dit geval is 100% aangehouden (afstroming gelijk aan uitspoeling).

Van deze bronnen zitten de grootste onzekerheden in de grondwaterkwaliteit, dus de posten uit- en afspoeling en drukdrainage UIT. Bij het opstellen van de balansen bleek dat de gemeten chloridegehalten meestal goed konden worden gereproduceerd. Chloride is echter een conservatieve stof, deze verdwijnt niet door processen. Bovendien berekent de waterbalans ook de toename in de concentratie van chloride door indamping. Bij de berekening van de gewogen gemiddelden voor de andere stoffen gebeurt dit niet. Toch is dit zeker informatief en helpt het bij de interpretatie van de meetgegevens (zie kader).

Vergelijking metingen met berekende concentraties in de belasting

In onderstaande figuren (bijvoorbeeld in Figuur 3-4 voor sulfaat) zijn per deelnemer de meetwaarden in de sloten weergegeven. Daarnaast is door middel van gestapelde kolommen het berekende gehalte in de belasting weergegeven voor een situatie met drukdrainage. Dit laat naast de totale berekende waarde, voor iedere bron, de geschatte bijdrage in de concentratie (en relatieve bijdrage in de belasting) van stoffen zien. Per bron en stof is aangegeven welke concentraties zijn gebruikt bij de berekening van de belasting.

De concentratie in de belasting geeft houvast bij de interpretatie van de meetgegevens, het geeft als het ware een hypothese. Er zijn echter allerlei redenen waarom de meetwaarden kunnen afwijken van de berekeningen. 's Zomers zijn de debieten vaak laag en hebben allerlei processen een grote invloed op de waterkwaliteit. 's Winters spelen deze processen veel minder een rol en wijzen afwijkingen op een daadwerkelijke andere waterkwaliteit van de bronnen.

Naast concentratie van stoffen door indamping en opname van nutriënten door vegetatie of algen, zijn allerlei biogeochemische processen van invloed op de gehalten, zoals:

- Neerslagen: gereduceerd ijzer slaat neer wanneer het in contact komt met zuurstof. Hierbij wordt ook fosfaat gebonden, waardoor een (soms groot) deel van het fosfaat in de belasting, niet tot uitdrukking komt in de gemeten gehalten. Dit kan zowel bij uitspoeling of uitpompen uit het perceel optreden, als in de waterkolom op het grensvlak van aeroob en anaeroob (nabij de waterbodem);
 - Nitrificatie en denitrificatie: door deze processen wordt ammonium omgezet in nitraat en nitraat in luchtstikstof. Hierdoor verdwijnt 's zomers een groot deel van het stikstof uit het watersysteem;
 - Nitraat, ijzer- en sulfaatreductie: bij afbraak van organisch materiaal zoals veen, plantenresten of algen kunnen onder anaerobe condities nitraat, ijzer en sulfaat uit het oppervlaktewater worden gereduceerd. Sulfaat wordt omgezet in sulfide en bindt meestal aan ijzer, bij onvoldoende beschikbaarheid van ijzer kan hierbij veel P vrijkomen en kan sulfide toxisch worden.
-

3.3.1 Sulfaat als indicator voor oxidatieprocessen

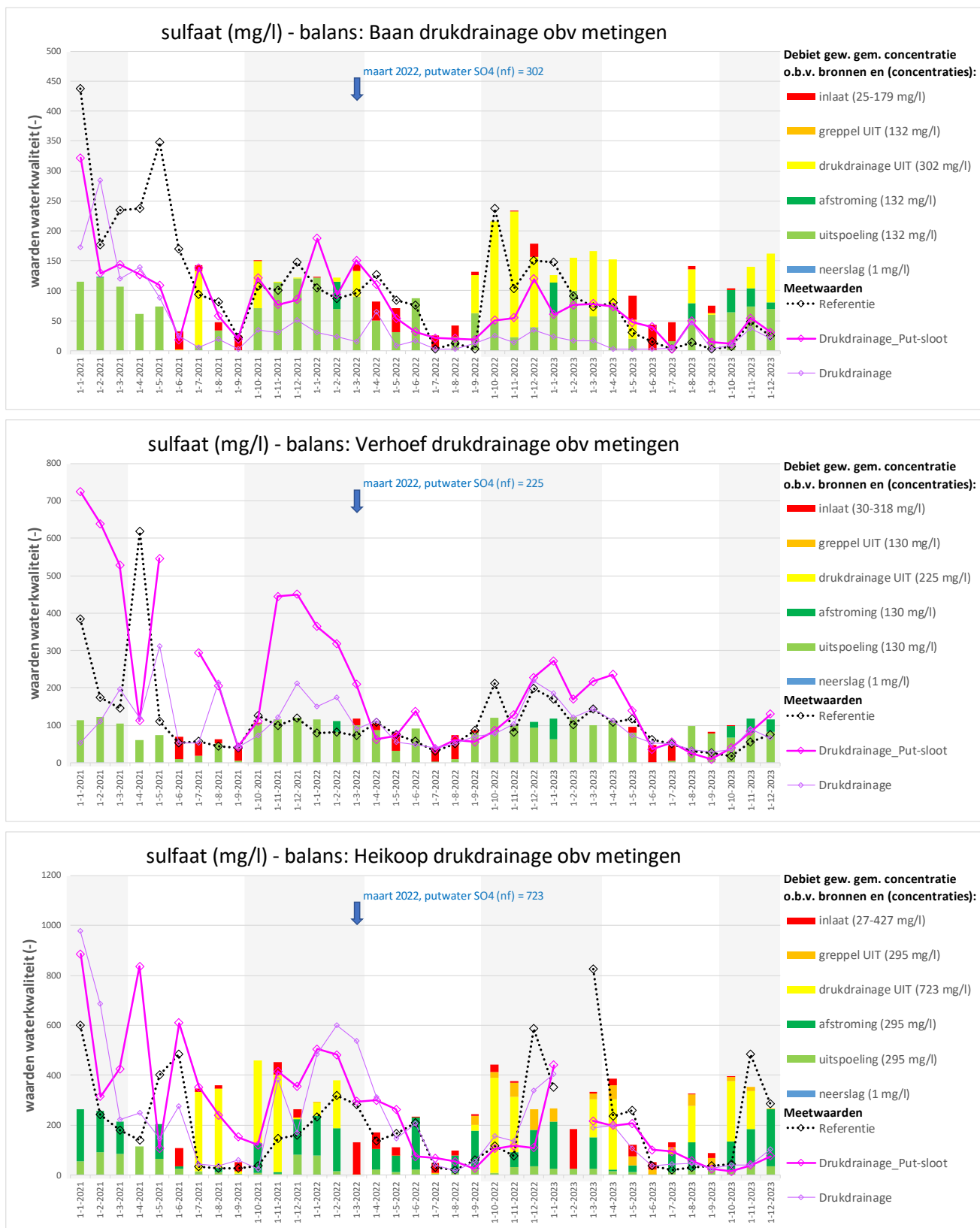
Zoals in §1.3 is uitgelegd, is pyrietoxidatie een belangrijk proces in de veengebieden van de Alblasserwaard. Bij dalende grondwaterstanden komt er zuurstof in de bodem, wat leidt tot veen- en pyrietoxidatie. Het sulfaatgehalte in het oppervlaktewater is een bruikbare indicator voor de mate waar veen- en pyrietoxidatie in de percelen optreedt en tot uitdrukking komt in de waterkwaliteit. Dat laatste is uiteraard ook van belang, zonder uitspoeling is het ook niet zichtbaar in het oppervlaktewater. Sulfaatuitspoeling is daarom vaak hoog in een nat najaar, na een droge zomer. 2018 was een extreem droge zomer met lage grondwaterstanden, in veel veengebieden is in de jaren er na veel sulfaatuitspoeling te zien, zoals ook in de Alblasserwaard.

In alle sloten in de pilotgebieden, zowel die met als zonder drukdrainage, laten de pieken in de meetwaarden in het winterhalfjaar een hoge uitspoeling van sulfaat zien (Figuur 3-4). Opvallend is dat in alle sloten de sulfaatgehalten het hoogst zijn in de eerste maanden van 2021. In de jaren daarna liggen ze lager, waardoor er sprake lijkt te zijn van een dalende trend. In absolute zin zijn en de meetwaarden hoog tot zeer hoog, enkele honderden tot bijna 1000 mgSO₄/l. Ter indicatie, voor zoete laagveenwateren gelden streefwaarden van circa 10-50 mg/l (Vermaat et al, 2013; Jaarsma et al, 2008). Hierboven neemt het risico op (interne) eutrofiëring sterk toe. De streefwaarden gelden vooral voor de (start van de) zomerperiode, wanneer sulfaat een belangrijke rol speelt bij de afbraak van organisch materiaal (veen, algen, plantenresten) in de waterbodem. Doordat sulfaat deze afbraak stimuleert, dreigt interne eutrofiering waarbij veel nutriënten (fosfaat en ammonium) vrijkomen. Een hoge beschikbaarheid (overmaat) van ijzer in de waterbodem kan fosfaat echter weer binden en biedt dus enige 'bescherming' tegen interne eutrofiëring. Een overmaat aan ijzer zorgt er ook voor dat er geen sulfidotoxiciteit ontstaat, door het sulfide dat bij sulfaatreductie vrijkomt te binden.

De metingen laten zien dat de sulfaatgehalten aan het begin van het zomerhalfjaar nog hoog zijn en gedurende de zomer sterk dalen, o.a. door sulfaatreductie en inlaat van sulfaatarm water. Dit gebeurt zowel in de referentiesloot als de drukdrainage-sloten. Voor wat betreft de figuren per deelnemer valt het volgende op:

- Bij Baan zijn de absolute sulfaatgehalten het laagst. Opvallend is dat de 'drukdrainage-sloot' (de afgedamde parallelsloot aan de andere zijde van het drukdrainageperceel) vanaf juli 2021 vrijwel constant lage sulfaatgehalten heeft en er nauwelijks pieken zijn in de winter. Het verschil tussen de drukdrainage-Put-sloot en de referentiesloot is kleiner, hoewel de pieken in sulfaatgehalten in de referentiesloot hoger zijn;
- Bij Verhoef heeft de 'drukdrainage_Put-sloot' de hoogste sulfaatgehalten. Het verschil tussen de drukdrainage-sloot en de referentiesloot is gering, hoewel de sulfaatgehalten in de referentiesloot in de winter 2021-2022 wel duidelijk lager zijn. Er lijkt met name in 2021 meer sulfaat uit het drukdrainage-perceel te komen dan 'verwacht';
- Bij Heikoop zijn de absolute sulfaatgehalten het hoogst. De 'referentiesloot' heeft tot eind 2022 meestal vergelijkbare of lagere sulfaatgehalten dan de drukdrainage-sloten, maar vertoont daarna in de wintermaanden juist enkele pieken.

Conclusie is dat de jaarpatronen vrij duidelijk zichtbaar zijn, maar dat er geen eenduidig verschil is in sulfaatgehalten tussen drukdrainage- en referentiesloten. Echter, de indruk is dat de pilot (en dus de metingen) zijn uitgevoerd in een periode waarin de gevolgen van de droge zomer in 2018 nog steeds zichtbaar zijn. Daarvan lijken de drukdrainage-percelen soms wel sneller te 'herstellen', wellicht doordat het aanwezige sulfaat versneld wordt afgevoerd en de hogere grondwaterstanden de vorming van nieuw sulfaat door pyrietoxidatie verminderen. Om dat te kunnen bevestigen is een langere meetreeks nodig.



Figuur 3-4. Verloop van de sulfaatgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

3.3.2 Overige parameters

Hieronder is per (set van) parameter(s) kort beschreven wat de metingen laten zien en of dit te relateren is aan de drukdrainage. De figuren staan op de pagina's daaronder.

Calcium en bicarbonaat (Figuur 3-5 en Figuur 3-6)

Net als bij sulfaat, valt bij Baan ook het lagere calcium- en bicarbonaatgehalte in de drukdrainage-sloot op. Bij Verhoef zijn de calciumgehalten in de drukdrainagesloten met name in de winter hoger dan in de referentiesloten. Bij Heikoop is het beeld voor calcium minder eenduidig, hier valt vooral het verschil in bicarbonaatgehalte op tussen drukdrainage- en referentiesloten. De lage bicarbonaatgehalten in 2021 en 2022 wijzen op een lage buffercapaciteit. De zuurproductie wordt maar ten dele gebufferd, waardoor ook de pH daalt. Dit is een wezenlijk verschil tussen Heikoop en de andere deelnemers. De oorzaak ligt waarschijnlijk in een verschil in grondslag (meer klei), wat wellicht ook de verschillen in sulfaat, ijzer, nutriënten en hydrologie (afspoeling) kan verklaren.

Conclusie: drukdrainage lijkt voor calcium en bicarbonaat bij iedere deelnemer een ander effect te hebben, het lijkt bij Baan vooral te leiden tot lagere gehalten (ofwel een meer regenwaterachtig karakter) in de parallelle drukdrainage-sloot, bij Verhoef in de winter tot hogere calciumgehalten bij drukdrainage en bij Heikoop vooral tot een lagere buffercapaciteit en pH.

IJzer (Figuur 3-7)

De gemeten ijzergehalten in de winter zijn bij Heikoop in de drukdrainage-sloten hoger dan in de referentiesloten. Bij Verhoef geldt dit alleen voor de drukdrainage_Put-sloot. De grondwatermetingen geven geen goed beeld van het ijzergehalte in het grondwater. Hierdoor zijn de verwachte gehalten in de belasting ook fors lager dan de gemeten gehalten.

Conclusie: de drukdrainage lijkt bij Verhoef en Heikoop te leiden tot hogere ijzergehalten in de sloten. De gehalten in het grondwater zijn niet goed in beeld.

Totaal-N, Ammonium en Nitraat (Figuur 3-10, Figuur 3-11 en Figuur 3-12)

De gemeten totaal-stikstofgehalten bij Baan zijn voor de drukdrainagesloten redelijk vergelijkbaar met die van de referentiesloten. Bij Verhoef en Heikoop zijn met name de wintergehalten in de drukdrainage_Put-sloot hoog. Voor circa één derde bestaat dit uit ammonium, met name bij Verhoef worden hoge NH₄-gehalten gemeten. De nitraatgehalten zijn meestal ongeveer de helft hiervan en lager dan die in de omgeving. Ongeveer de helft van het totaal-stikstof bestaat uit organisch stikstof, o.a. veendeeltjes.

Bij Baan én Heikoop worden vooral in het winterhalfjaar hogere stikstofgehalten verwacht (in de belasting). Deze verwachting is vooral gebaseerd op de metingen van hoge stikstofgehalten in de éénmalige meting van het grondwater en debietmetingen van de post 'Drukdrainage_UIT'. Dat de gehalten in de sloten lager zijn, betekent dat de gemeten grondwaterkwaliteit niet representatief is voor de jaarrond kwaliteit van het uitgedompte water.

Bij Verhoef wordt niet uitgedompt, opvallend is dat hier de stikstofgehalten in de drukdrainage_Put-sloot juist het hoogst zijn. Wellicht vindt er wel (versnelde) uitspoeling plaats via de drains.

Conclusie: Bij Verhoef en Heikoop lijkt de drukdrainage vooral in de winter te leiden tot hogere ammonium- en totaal-stikstofgehalten. De gehalten die bij Baan en Heikoop de drukdrainage uit komen, zijn echter lager dan verwacht op basis van de éénmalige grondwaterkwaliteitsmeting.

Totaal-P en ortho-P (Figuur 3-8 en Figuur 3-9)

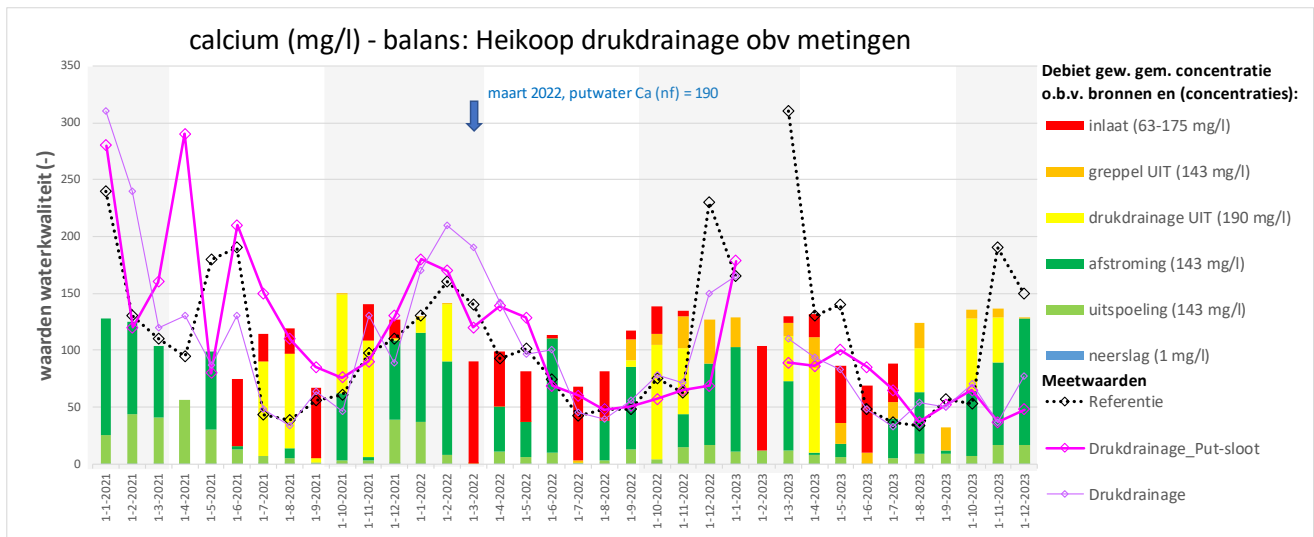
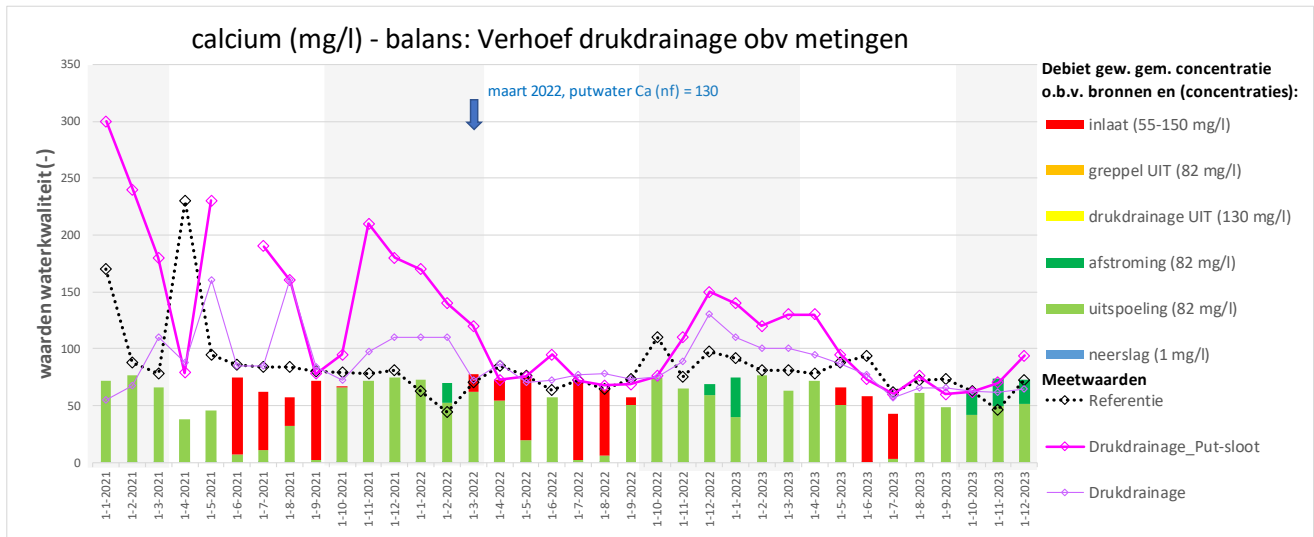
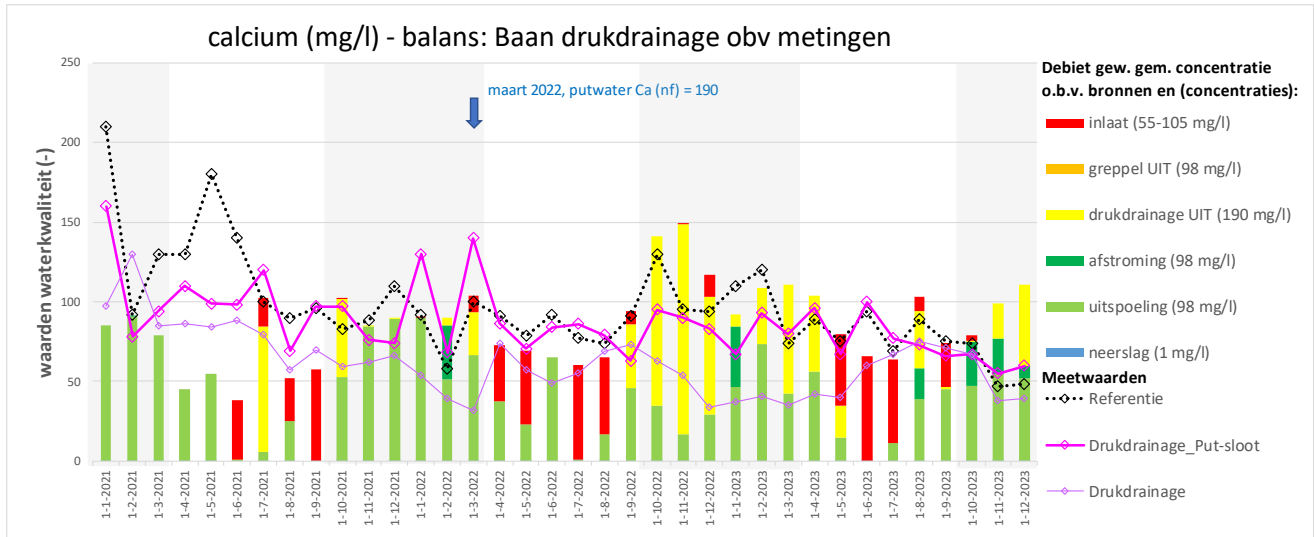
De metingen van fosfaat laten een wisselend beeld zien. Pieken in opgelost fosfaat (ortho-P) in de zomer wijzen op nalevering door de waterbodem, rechtstreeks of via de biota (vegetatie). Deze zijn het duidelijkst te zien bij Baan (referentiesloot in 2021), Verhoef (alle jaren, echter de laatste jaren vooral hoge pieken in de drukdrainagesloten) en bij Heikoop een paar kleine piekjes in juni 2021.

Pieken in de winter wijzen op uitspoeling, al dan niet via de drukdrainage. Ook hier valt Verhoef weer op door hogere pieken, met name in de drukdrainagesloten.

Totaal-P laat grotendeels hetzelfde beeld zien, met vaak iets hogere gehalten. Echter de totaal-P gehalten bij Verhoef in de droge junimaand in 2023 zijn wel erg hoog. De metingen laten zien dat de waterdiepte toen slechts 10-20 cm bedroeg, wat zeker van invloed kan zijn op de waterkwaliteit. De metingen van het grondwater laten echter ook zien dat de P-gehalten in het grondwater fors verschillen tussen deelnemers en bij Verhoef veruit het hoogst zijn. De hoge totaal-P gehalten, die bij Baan verwacht werden, in de belasting vanuit de drukdrainage, zijn niet gemeten in de sloten. Uiteraard kan (neerslag met) ijzer hierbij een rol spelen.

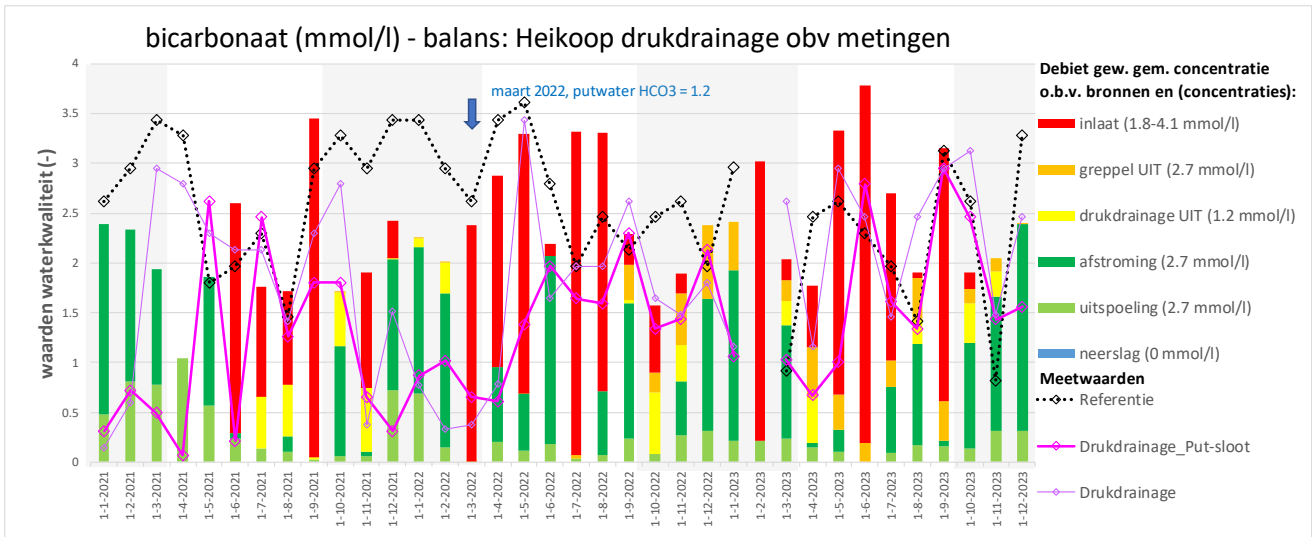
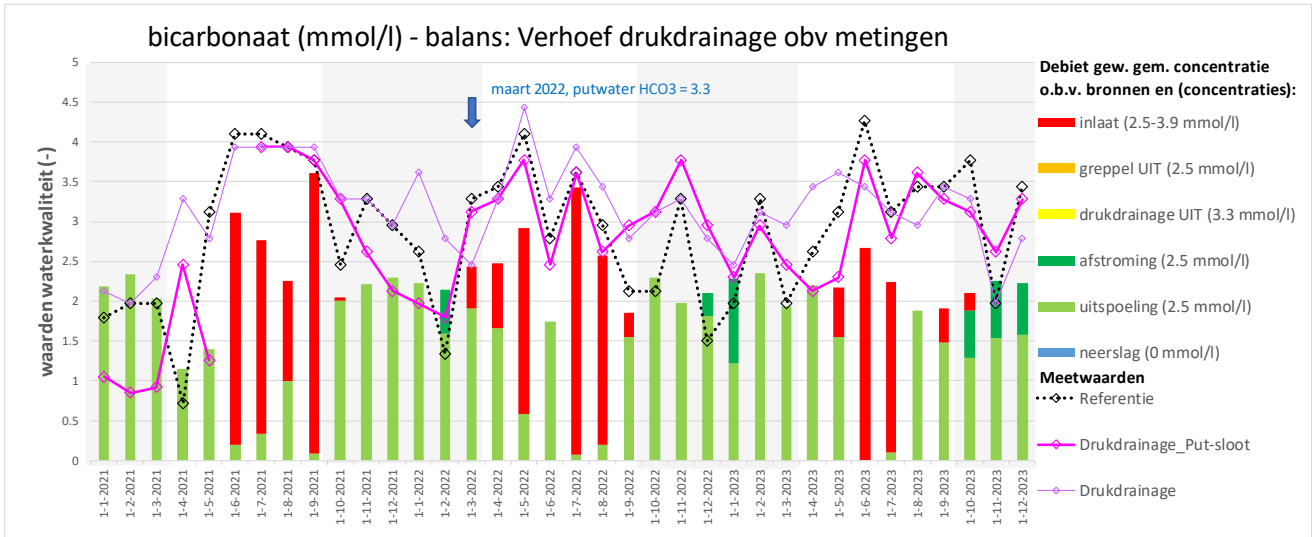
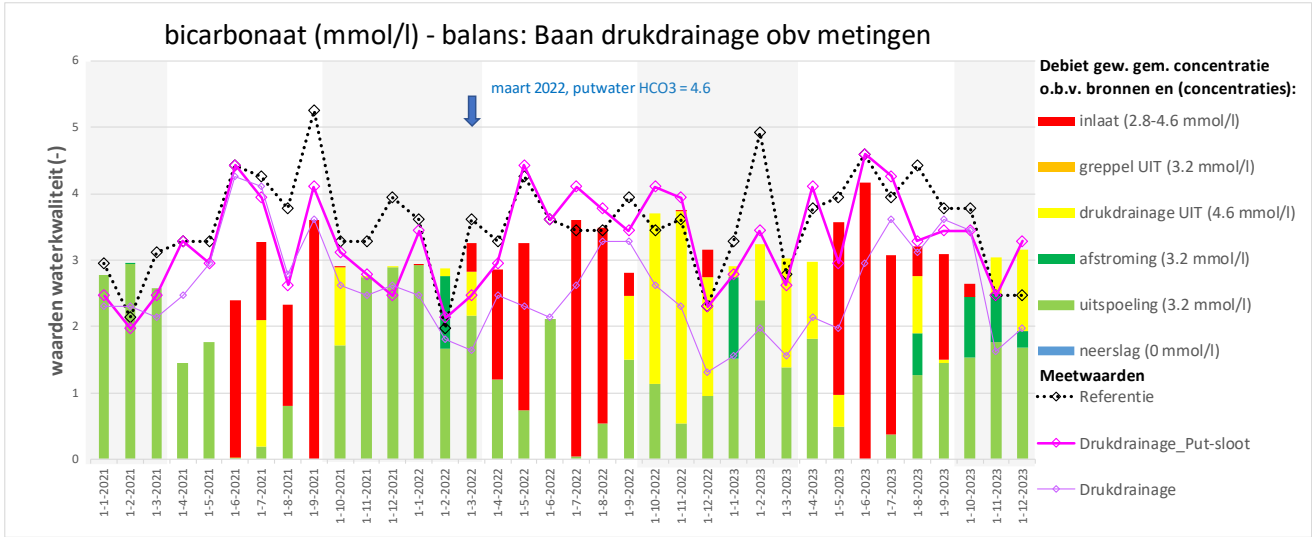
Conclusie: bij Verhoef zijn de P-gehalten zowel 's winters (uitspoeling) als 's zomers (nalevering) het hoogst in de drukdrainage sloten. Hier werden ook de hoogste P-gehalten gemeten in het grondwater. De hoge totaal-P gehalten in het grondwater bij Baan komen, via de drukdrainage UIT, maar beperkt tot uiting in de sloten.

Calcium



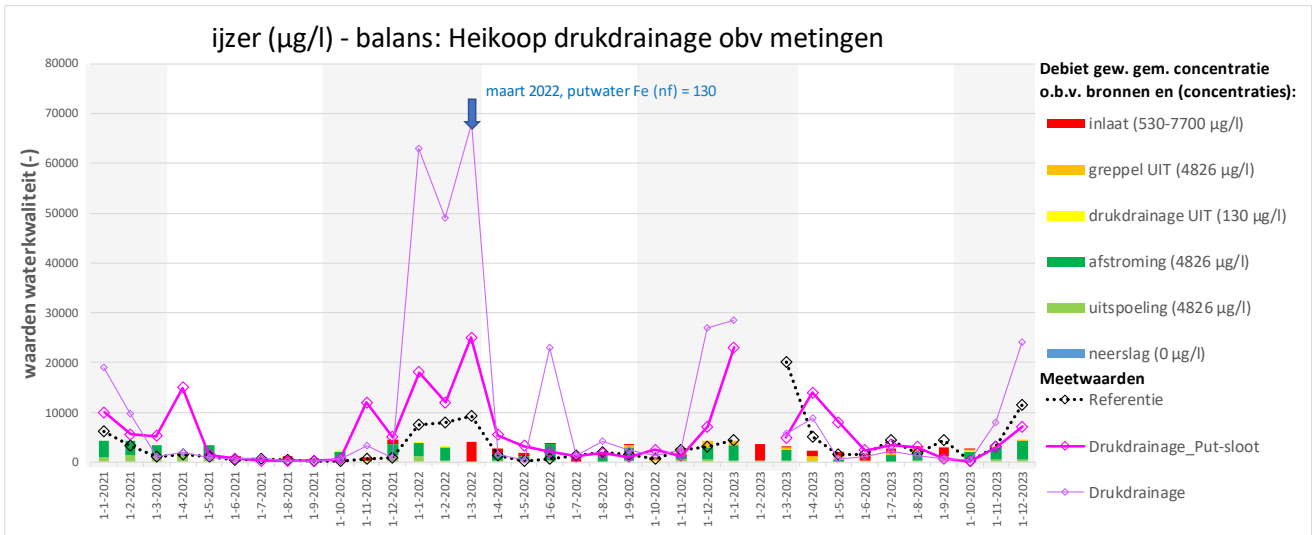
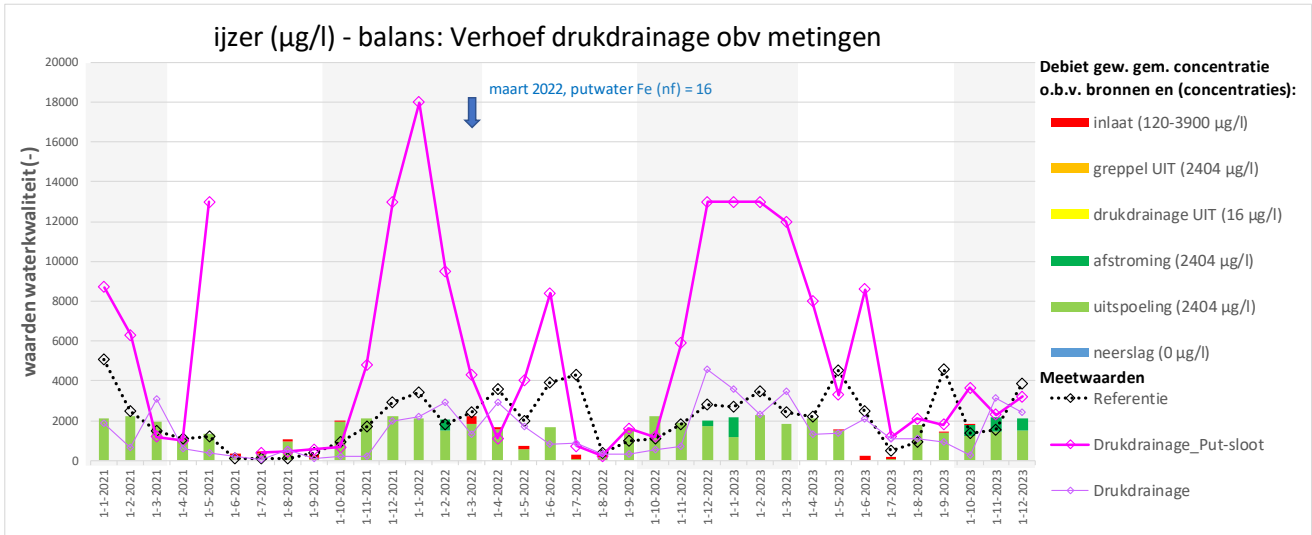
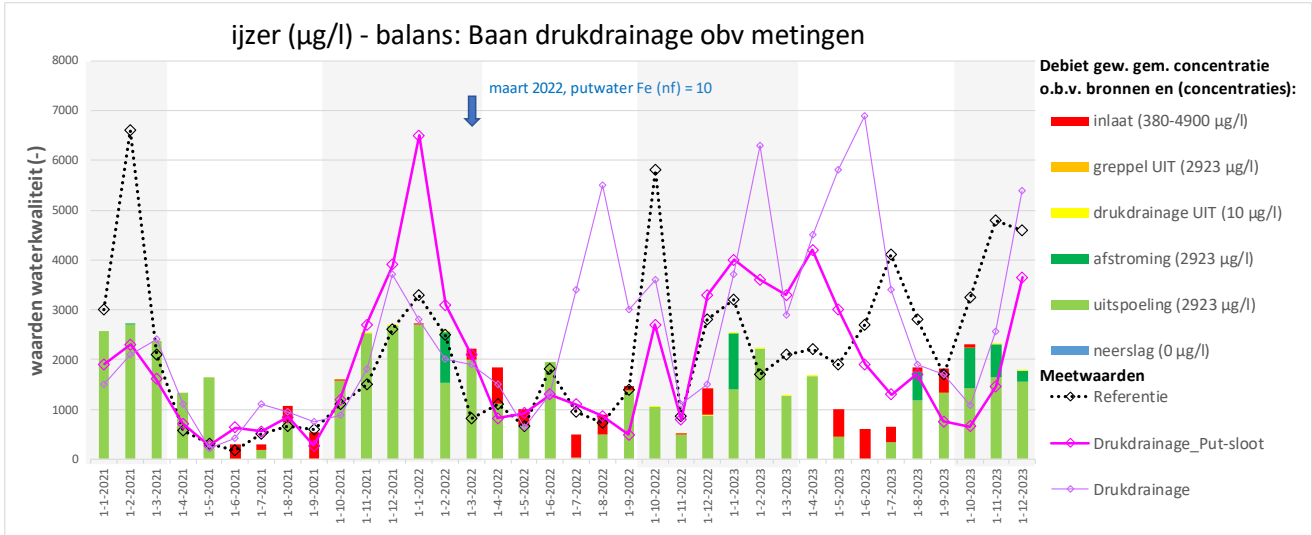
Figuur 3-5. Verloop van de calciumgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Bicarbonaat



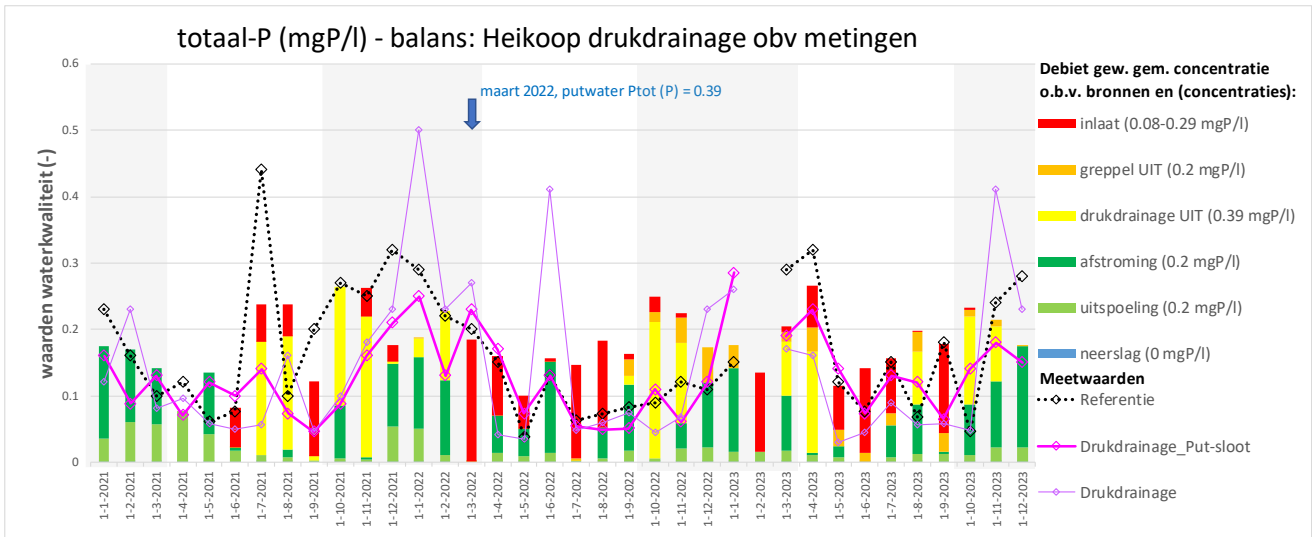
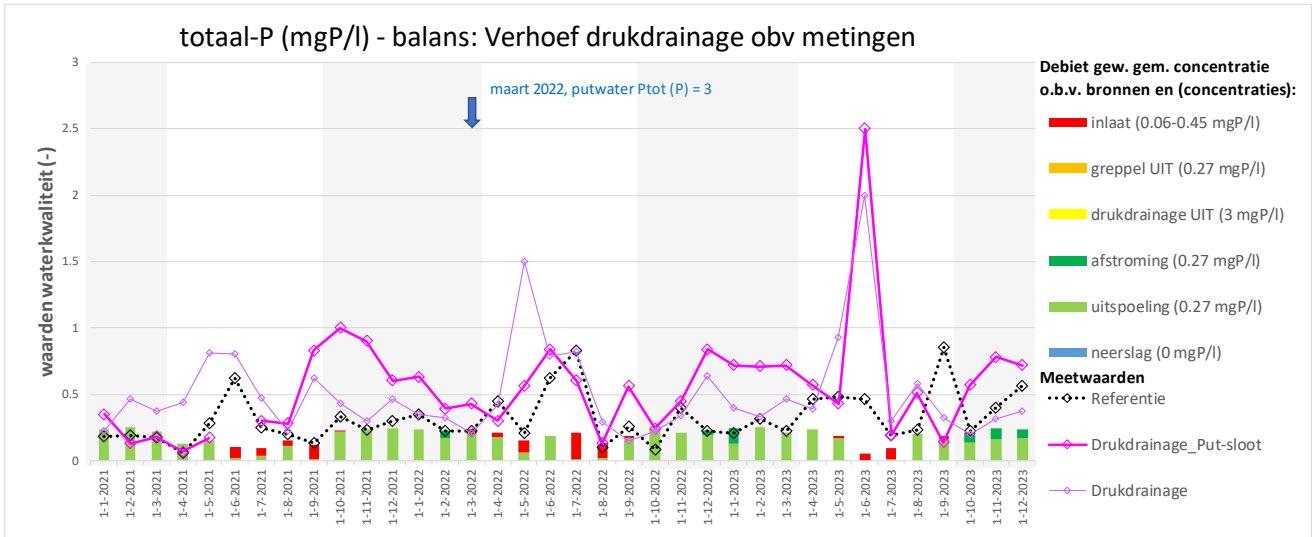
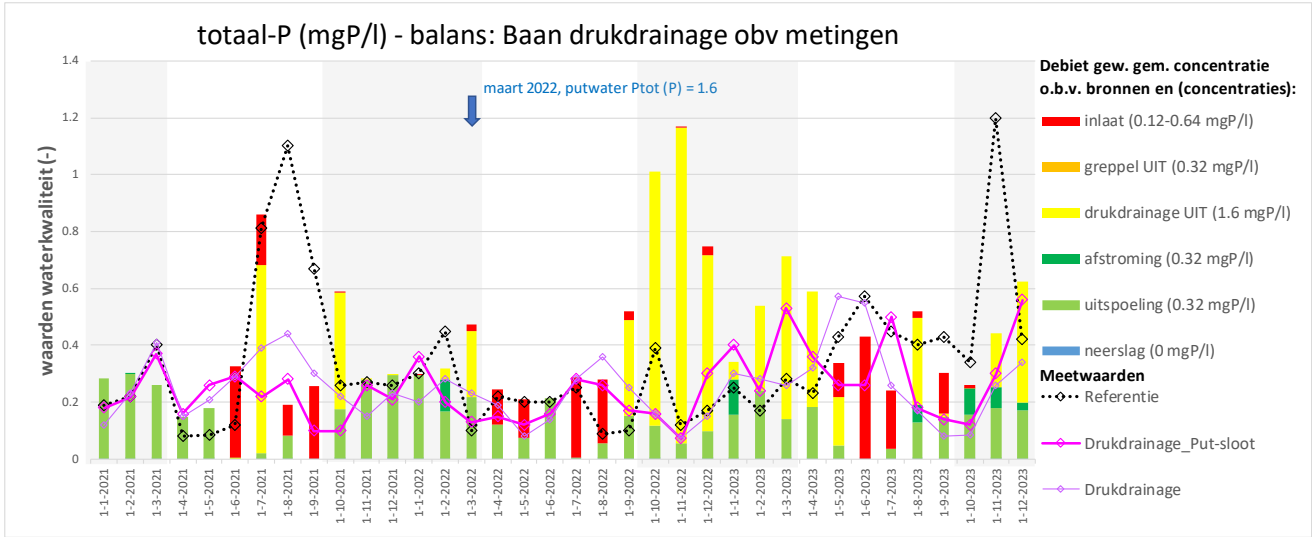
Figuur 3-6. Verloop van de bicarbonaatgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

IJzer



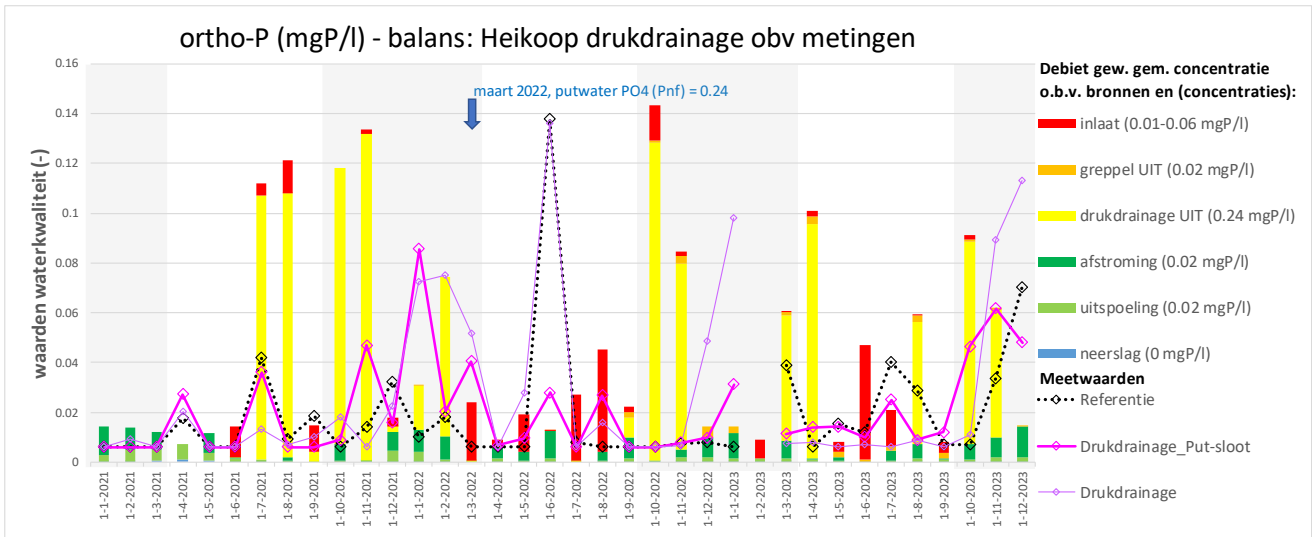
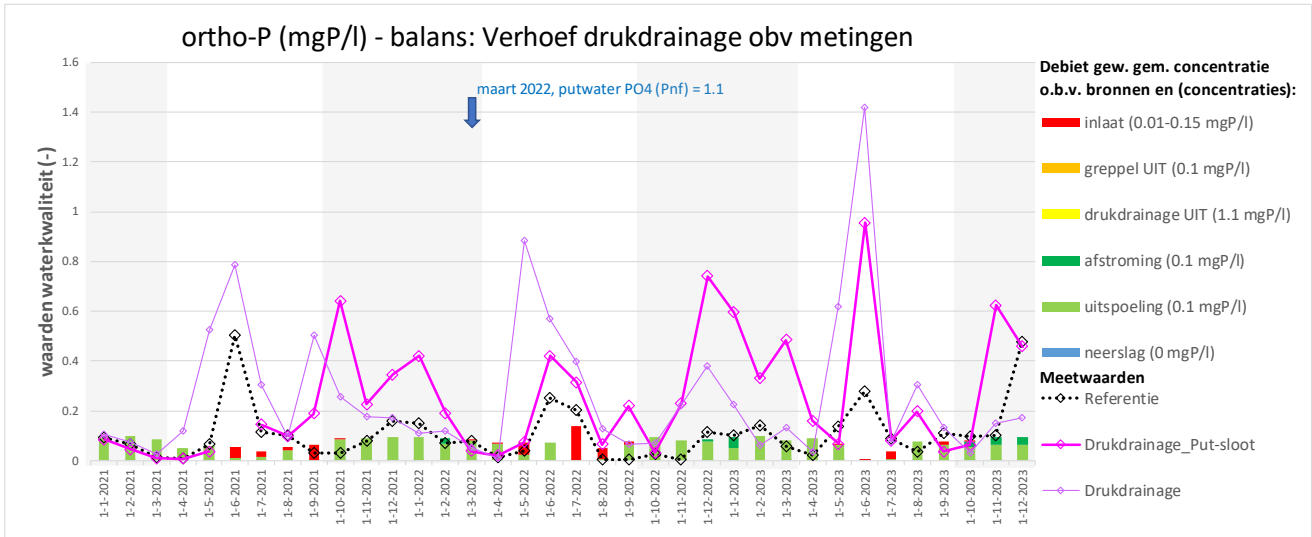
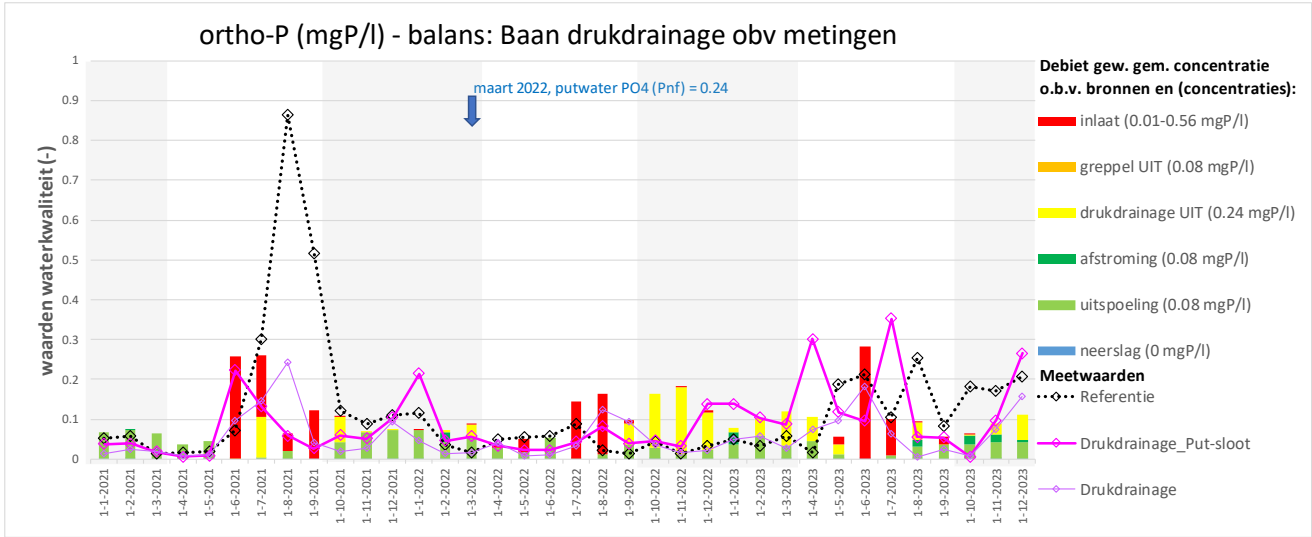
Figuur 3-7. Verloop van de ijzergehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Totaal-P



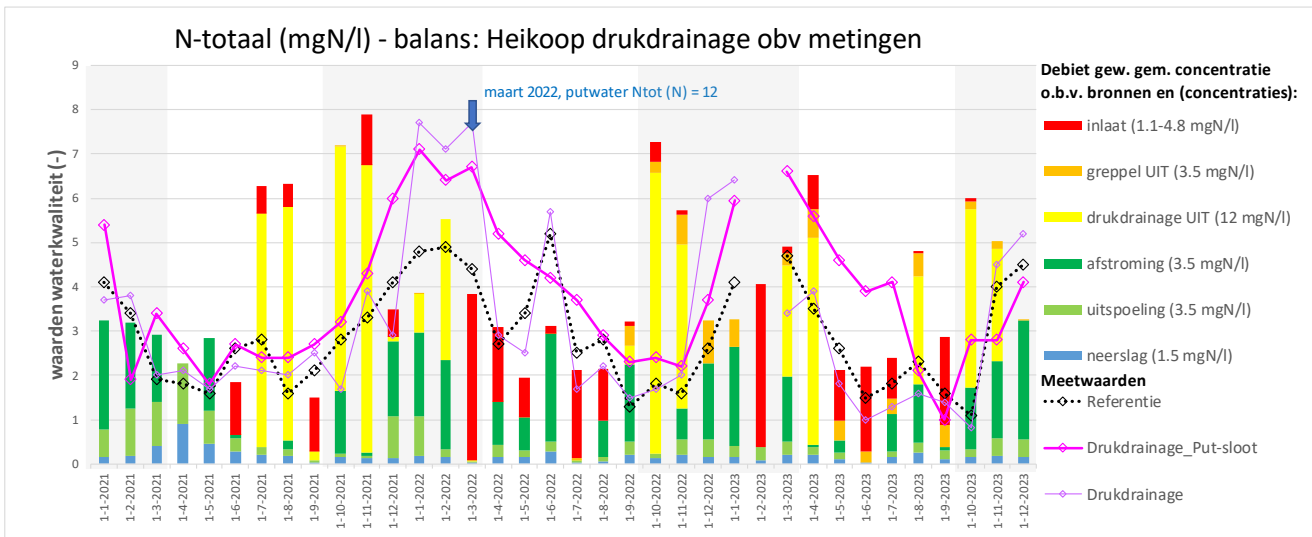
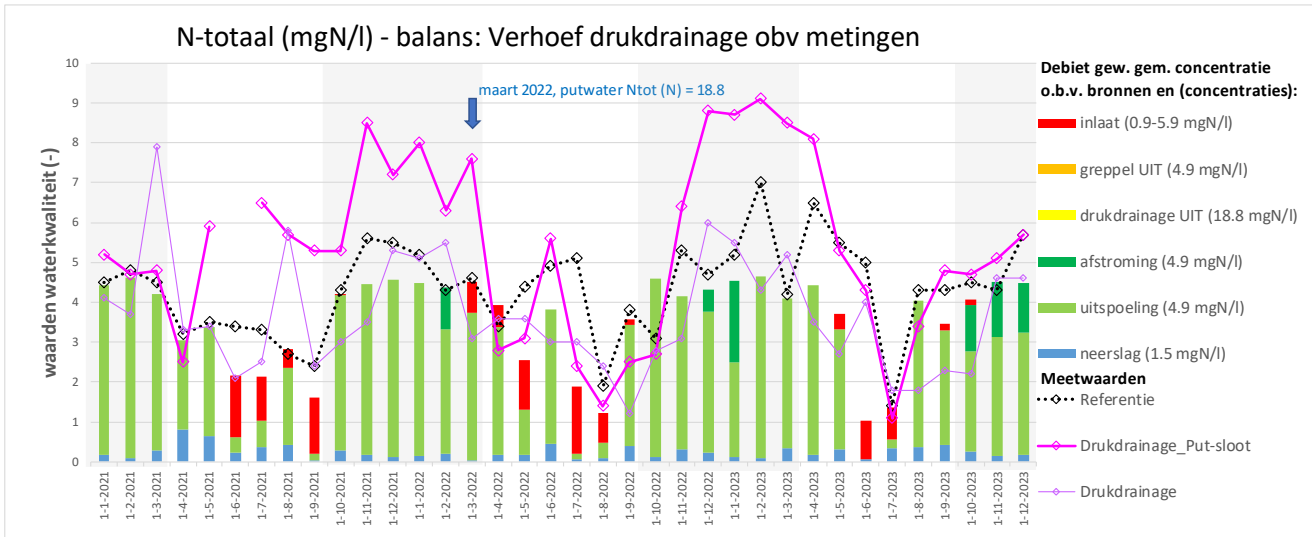
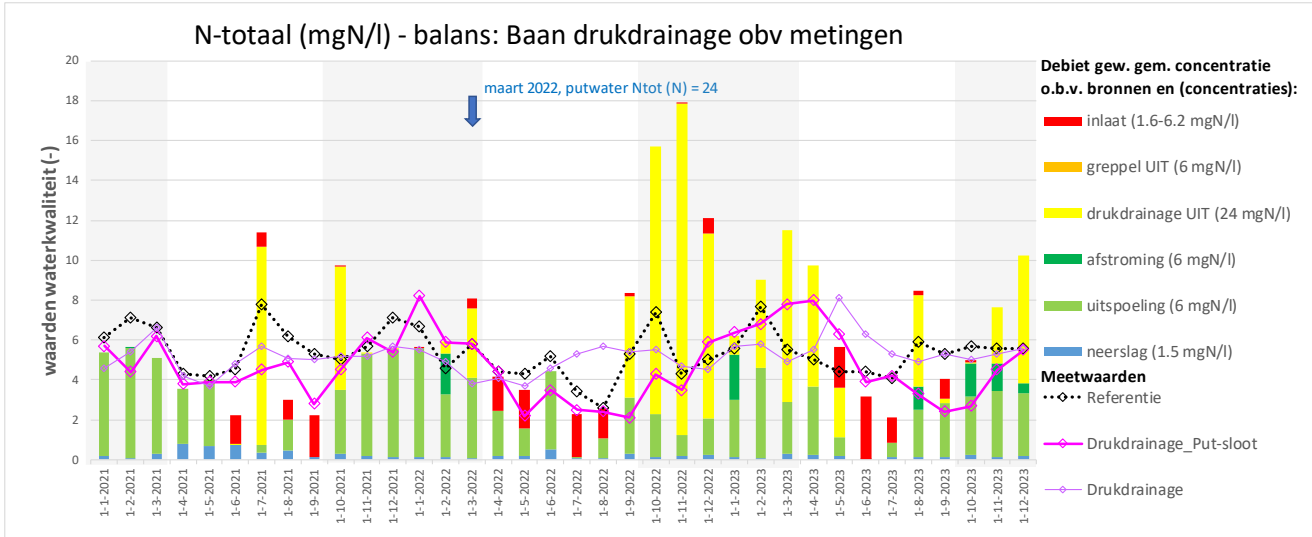
Figuur 3-8. Verloop van de totaal-P gehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Ortho-P



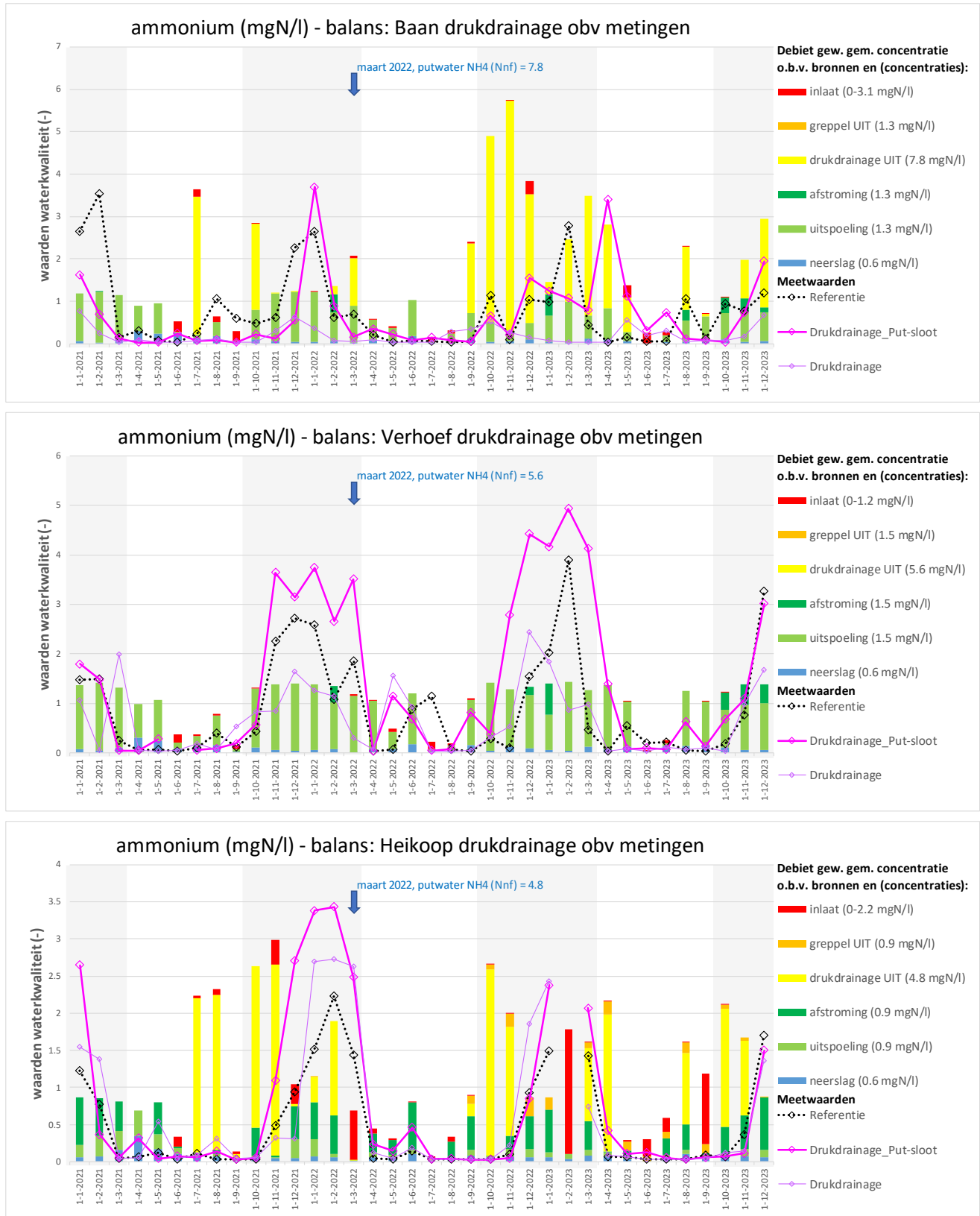
Figuur 3-9. Verloop van de ortho-P gehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Totaal-N



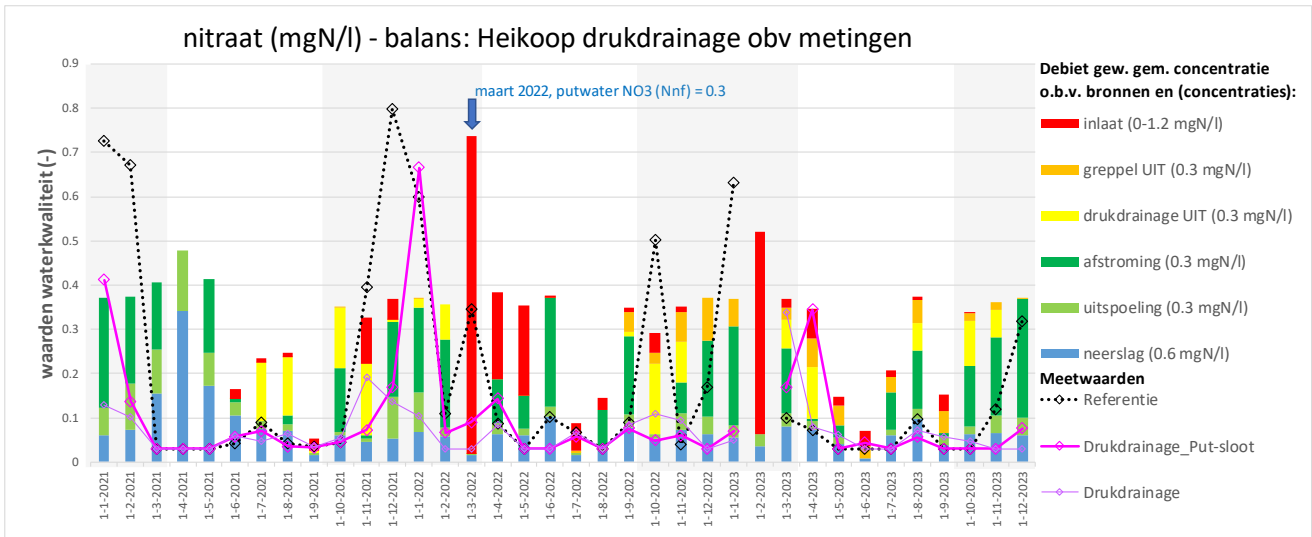
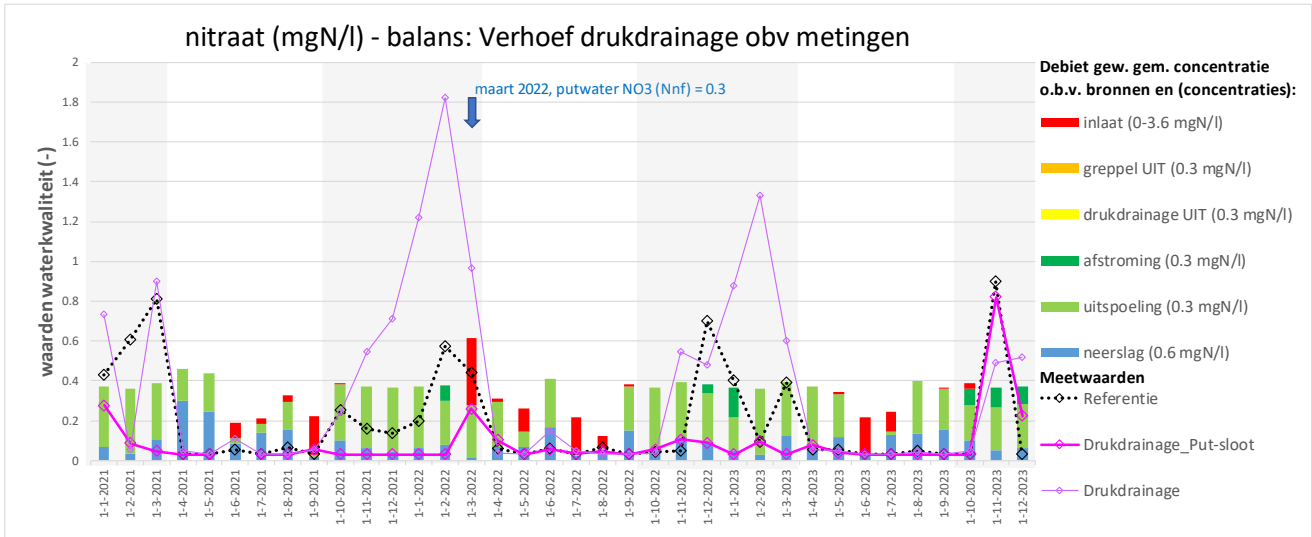
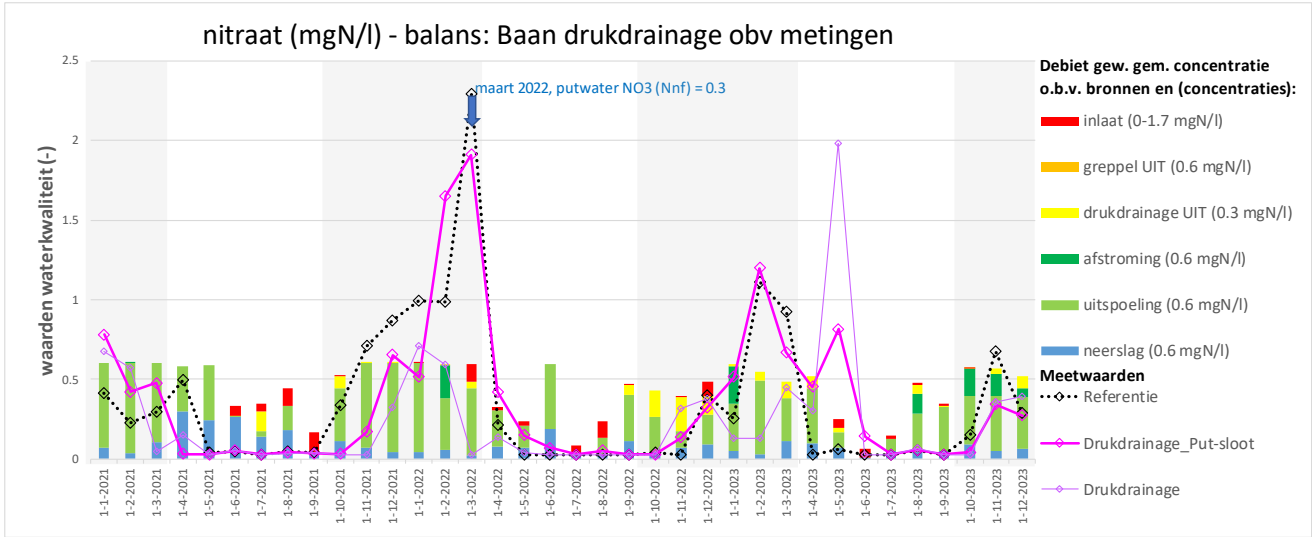
Figuur 3-10. Verloop van de totaal-stikstofgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Ammonium



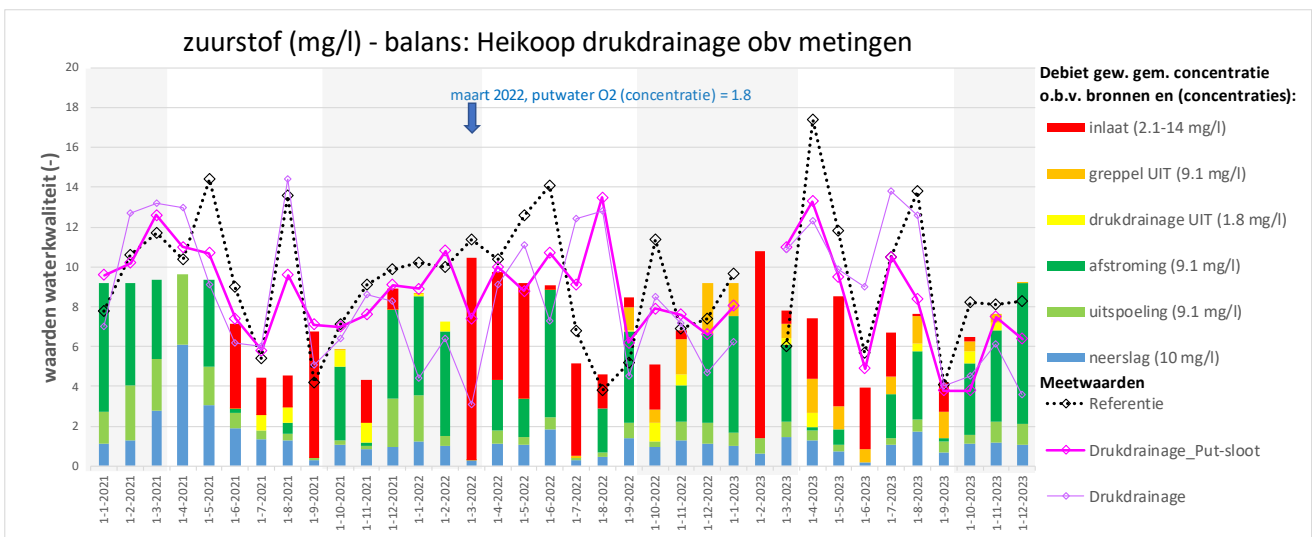
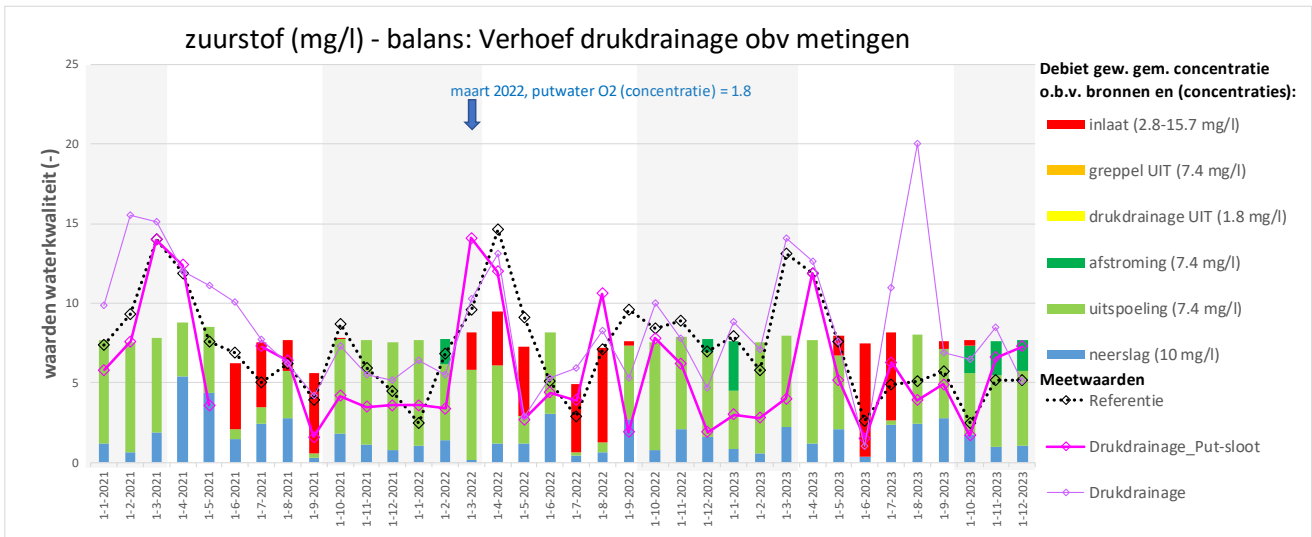
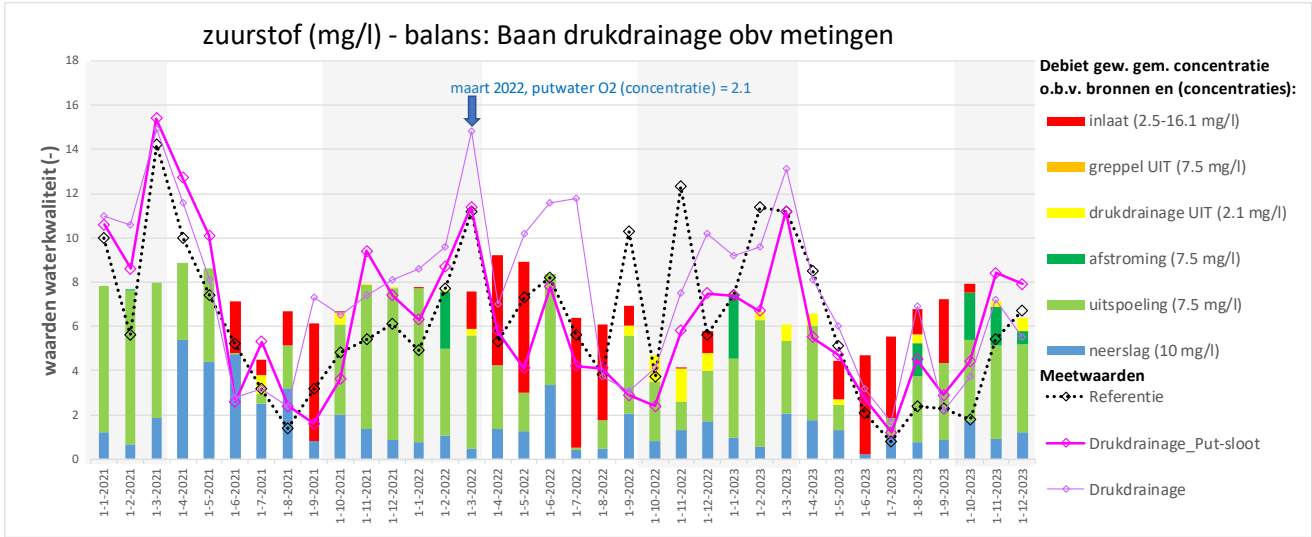
Figuur 3-11. Verloop van de ammoniumgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Nitraat



Figuur 3-12. Verloop van de nitraatgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

Zuurstof



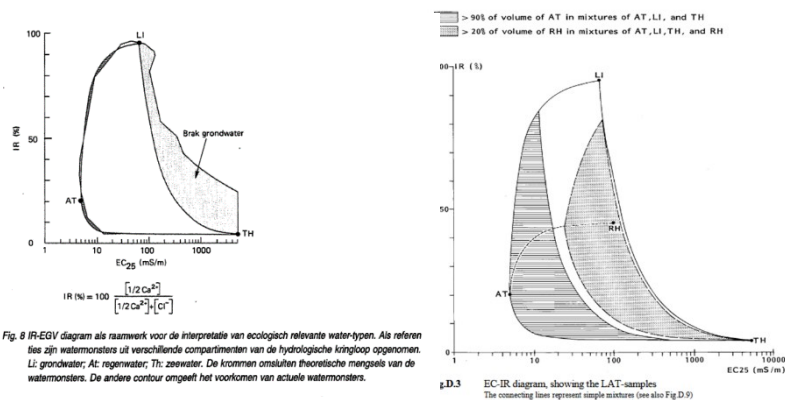
Figuur 3-13. Verloop van de zuurstoftgehalten in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

3.3.3 Ionenratio en IR-EGV

De ionenratio is indicatief voor de verhouding tussen calcium en chloride, de EGV voor de totale ionenrijkdom. Samen geven deze parameters in een oppervlaktewater globaal inzicht in de herkomst van het water. Zo hebben de belangrijkste bronnen: neerslag, grondwater en oppervlaktewater ieder hun eigen signatuur. Het IR-EGV diagram laat dat zien (zie kader).

IR-EGV diagram

Een IR-EGV diagram (ook wel bekend als "van Wirdum diagram") heeft 2 assen: op de x-as staat het elektrisch geleidend vermogen van het water (EGV, conductiviteit, $\mu\text{S}/\text{cm}$ of mS/m). Dit is een maat voor het aantal ionen in de oplossing, ofwel de totale saliniteit (zie hfd. saliniteit). Op deze as ligt regenwater uiterst links en zeewater uiterst rechts. Op de y-as is de ionenratio uitgezet, deze geeft de verhouding tussen calcium en chloride weer, uitgedrukt in milli-equivalenten. Deze wordt als volgt berekend:
$$\text{IR} = \frac{2 \cdot [\text{Ca}^{2+}]}{2 \cdot [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Cl}^-]}$$
 [concentraties] in $(\mu)\text{mol}/\text{l}$. De concentratie van calcium wordt dus vermenigvuldigd met 2, het equivalent van de lading. Een hoge IR-waarde wijst op relatief veel calcium ten opzichte van chloride. Op deze as staat grondwater bovenaan en zeewater onderaan.

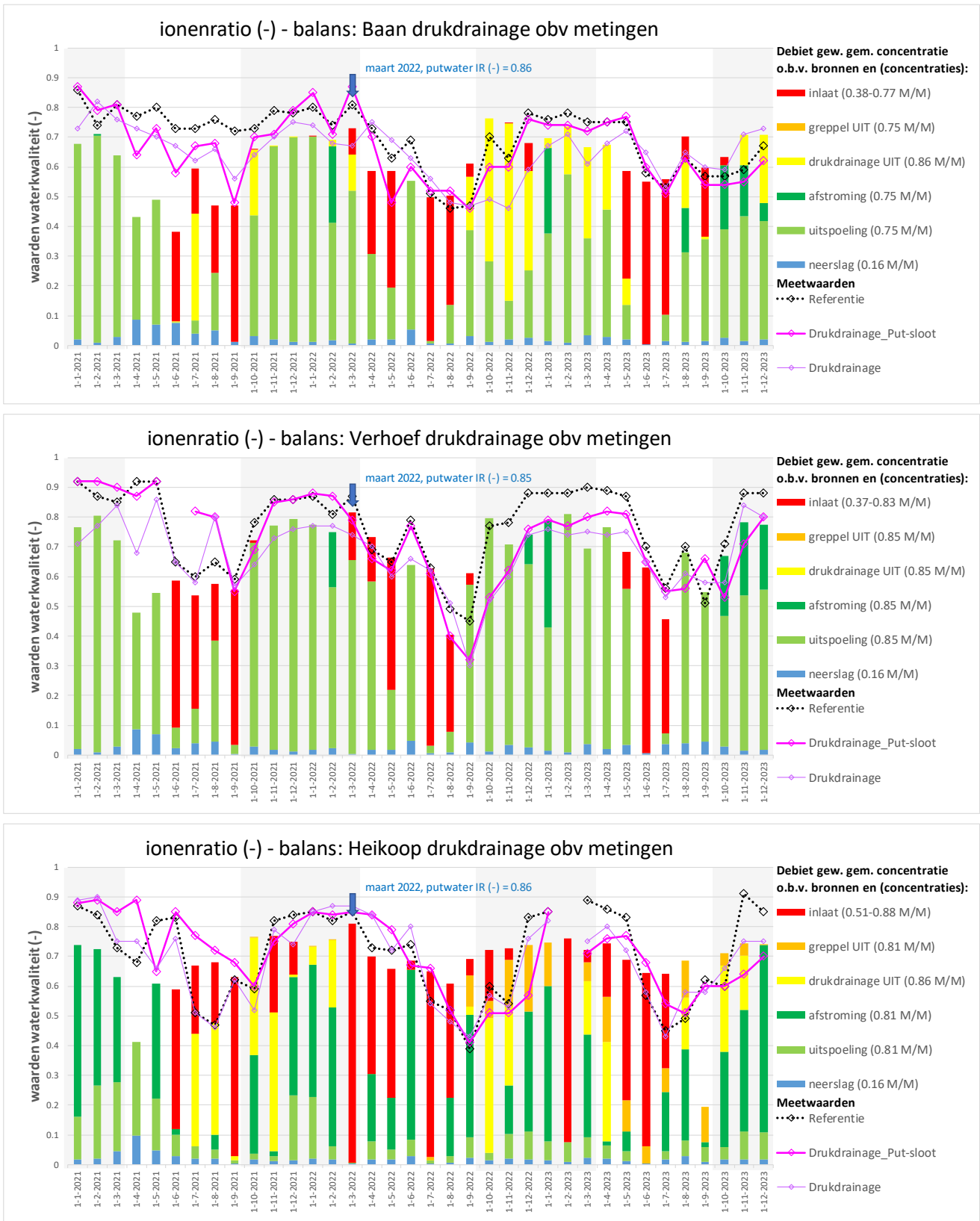


In het diagram staan de referentiepunten weergegeven, dit zijn specifieke monsters (van Wirdum, 1991). Dit zijn de uitgangspunten in de grafiek. Het doel van de grafiek is inzicht te krijgen in de samenstelling van het oppervlaktewater in termen van regenwater (ATmoclien), grondwater (LIthoclien) en zeewater (THallasoclien). RH staat voor Rijnwater bij Lobith (rond 1975).

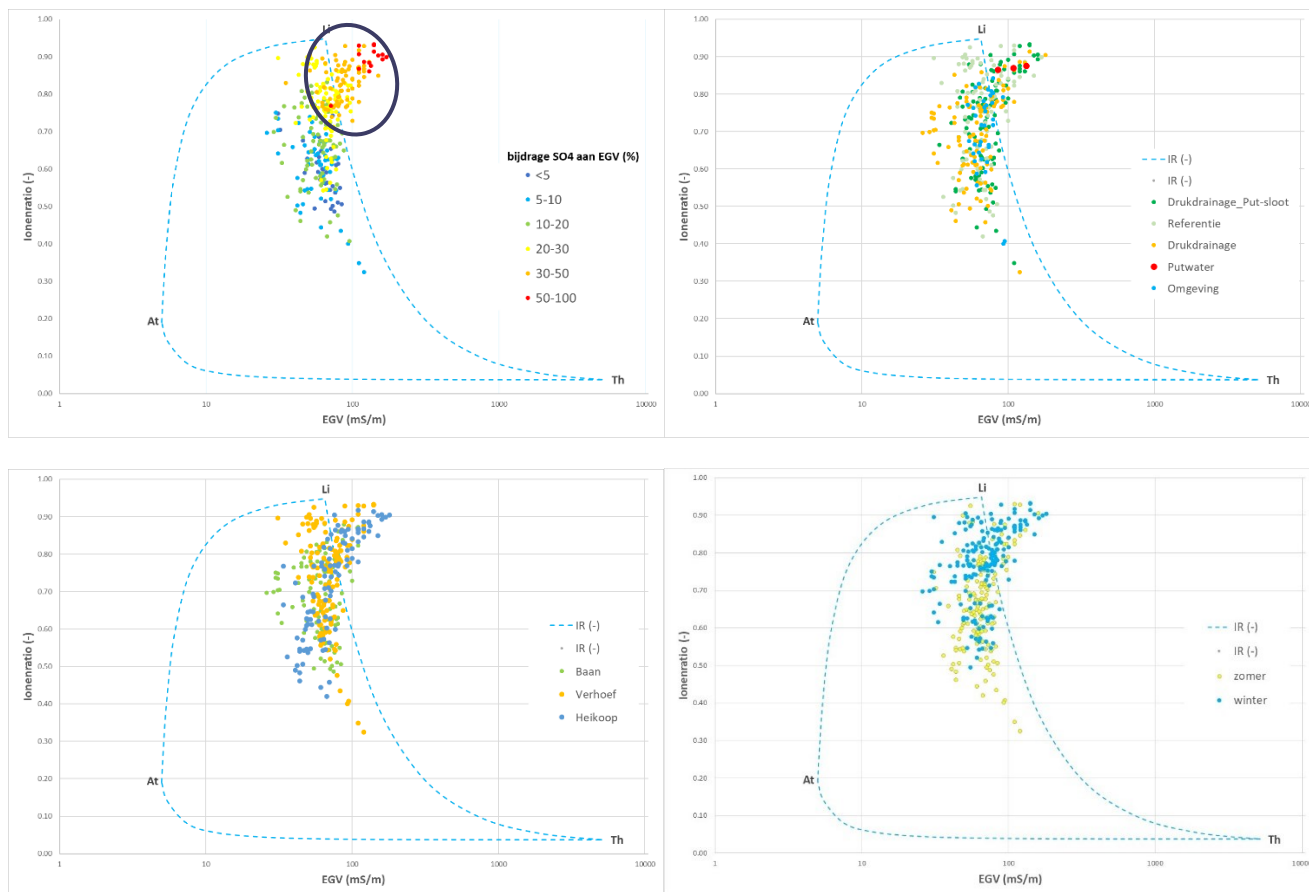
In dit geval is er een duidelijk verschil tussen zomer (vooral inlaat van rivierwater) en winter (vooral uit- en afspoeling). Figuur 3-15 laat dit zien, grofweg ligt er een 'knip' bij een IR van 0.7, waarboven grondwater en waarbeneden rivierwater dominant is. Wat opvalt is dat een substantieel deel van de waarnemingen buiten de begrenzing van de 'referentielijn' ligt. Dit zijn waarnemingen met hoge sulfaatgehalten, die grofweg voor 30% of meer bijdragen aan de geleidendheid. Hier liggen ook de metingen in het grondwater van de percelen. Dit laat zien dat het (uitspoelende) grondwater in de Alblasserwaard heel anders van samenstelling is dan de referentiewaarde voor (kalkrijk zoet) Lithoclien grondwater (Li) in het diagram. De positie buiten het diagram wordt geassocieerd met brak grondwater. In dit geval dus niet letterlijk brak (qua chloridegehalte), maar wel brak in de zin van ionen/sulfaatrijk water wat waarschijnlijk wel wijst op de historische mariene invloed.

De ionenratio laat volgens verwachting een duidelijk zomer-winterpatroon zien (zie Figuur 3-14). De verschillen tussen drukdrainage en referentie zijn echter niet eenduidig. Het vaakst lijkt de referentie hoger te liggen dan de drukdrainagesloten (wijzend op meer grondwaterinvloed), soms echter lager (wijzend op meer regenwater of inlaatwater) en soms wijkt juist één van de drukdrainagesloten af.

Conclusie: De verwachting was dat de waterkwaliteit 's zomers eerder en meer op die van het rivierwater zou gaan lijken. De ionenratio (IR, gebaseerd op de verhouding calcium en chloride) is hiervoor een goede indicator. De IR laat soms inderdaad zien dat drukdrainage leidt tot meer inlaat (lagere IR), maar soms ook tot meer uitspoeling of meer uitgedompt grondwater in de zomer (hogere IR). Het IR-EGV diagram laat zien dat het (grond)water in de Alblasserwaard afwijkt van de 'referentie' met kalkrijk zoet grondwater (Lithoclien) in verband met de hoge sulfaatgehalten.



Figuur 3-14. Verloop van de ionenratio in het oppervlaktewater, en het naar debiet gewogen gemiddelde sulfaatgehalte in de belasting, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.



Figuur 3-15 IR-EGV diagram van de metingen in het oppervlaktewater en de éénmalige metingen in de pompput, voor Baan, Verhoef en Heikoop in 2021 t/m 2023.

3.4 Stofbelasting

Voor de waterkwaliteit en ecologie zijn niet alleen de concentraties van stoffen, maar ook de belastingen van het watersysteem met stoffen van belang. Vooral in de zomer zorgt een continue belasting met bijvoorbeeld P en N voor een continue aanvoer van voedingsstoffen, waardoor er niet snel meer sprake is van nutriëntenlimitatie. Hierdoor kunnen soms eerder waterkwaliteitsproblemen optreden. Omgekeerd kan de constante aanvoer van bijvoorbeeld inlaatwater (met stoffen) weliswaar zorgen voor een hogere stofbelasting, maar kan het er bijvoorbeeld ook voor zorgen dat de bodem langer zuurstofrijk blijft en nalevering vanuit de waterbodem minder snel optreedt of sneller wordt afgevoerd. Voor wat betreft de bodemprocessen zijn ook sulfaat en bicarbonaat van belang, een continue aanvoer in de zomer kan afbraakprocessen en nalevering van P en N vanuit de waterbodem stimuleren. Zoals al eerder opgemerkt speelt ijzer daarbij ook een belangrijke rol.

Tabel 3-2 geeft per stof en per situatie de berekende belasting van het watersysteem weer. Ter toelichting:

- 'referentie berekend' geeft de huidige belasting weer,
- 'drukdrainage berekend' gaat uit van de modelberekening, het verschil met de referentie wordt alleen veroorzaakt door een toename van de debieten van inlaat, uit- en afspoeling;
- 'drukdrainage o.b.v. metingen' gaat daarnaast ook uit van de debietmetingen, het verschil met de referentie wordt naast verschillen in de debieten, vooral ook veroorzaakt door de post 'drukdrainage UIT'. Het debiet van deze post is gekoppeld aan de éénmalige meting in het grondwater van de pompput. Dit leidt soms tot fors hogere berekende belastingen.

Tabel 3-2 Belasting van het watersysteem per deelnemer, stof en situatie in milligrammen per vierkante meter per dag (mg/m²/d).

zomergemiddelde belasting (mg/m²/d)

deelnemer en behandeling	SO4 (nf)	Ca (nf)	HCO3	Cl (nf)	Fe (nf)	PO4 (Pnf)	Ptot (P)	NH4 (Nnf)	NO3 (Nnf)	Ntot (N)
Baan referentie berekend	393	387	17	345	7808	0.7	1.6	4.4	2.6	22
Baan drukdrainage berekend	1034	1105	53	1082	19334	2.1	4.7	8.9	4.7	54
Baan drukdrainage o.b.v. metingen	1191	1107	46	884	16857	1.8	5.4	16.4	4.5	72
Verhoef referentie berekend	434	374	14	281	5784	0.4	0.9	4.5	2.2	17
Verhoef drukdrainage berekend	1009	982	37	778	10887	0.8	2.0	7.3	3.7	34
Verhoef drukdrainage o.b.v. metingen	840	767	29	563	10872	0.7	1.8	7.5	3.3	31
Heikoop referentie berekend	688	430	13	234	12400	0.1	0.7	3.3	1.9	14
Heikoop drukdrainage berekend	1726	1133	33	570	30817	0.3	1.7	6.5	3.3	30
Heikoop drukdrainage o.b.v. metingen	3071	1708	51	889	40587	0.7	2.9	14.5	4.2	56

wintergemiddelde belasting (mg/m²/d)

deelnemer en behandeling	SO4 (nf)	Ca (nf)	HCO3	Cl (nf)	Fe (nf)	PO4 (Pnf)	Ptot (P)	NH4 (Nnf)	NO3 (Nnf)	Ntot (N)
Baan referentie berekend	2174	1608	52	831	48168	1.3	5.3	22.6	11.5	102
Baan drukdrainage berekend	2387	1769	57	918	52902	1.4	5.8	24.6	12.6	112
Baan drukdrainage o.b.v. metingen	3099	2186	66	978	47011	2.0	10.4	47.6	12.3	177
Verhoef referentie berekend	2181	1216	42	381	40334	1.7	4.5	26.3	7.3	85
Verhoef drukdrainage berekend	2314	1277	45	407	42808	1.8	4.8	27.8	7.7	90
Verhoef drukdrainage o.b.v. metingen	2457	1358	48	439	45454	2.0	5.1	29.2	8.3	96
Heikoop referentie berekend	5215	2167	47	900	85169	0.3	3.5	17.4	7.6	65
Heikoop drukdrainage berekend	5494	2238	50	948	89715	0.3	3.6	18.2	7.9	68
Heikoop drukdrainage o.b.v. metingen	7924	2764	51	1055	78879	1.4	5.0	38.1	8.9	116

jaargemiddelde belasting (mg/m²/d)

deelnemer en behandeling	SO4 (nf)	Ca (nf)	HCO3	Cl (nf)	Fe (nf)	PO4 (Pnf)	Ptot (P)	NH4 (Nnf)	NO3 (Nnf)	Ntot (N)
Baan referentie berekend	1284	998	35	588	27988	1.0	3.5	13.5	7.1	62
Baan drukdrainage berekend	1710	1437	55	1000	36118	1.8	5.3	16.8	8.6	83
Baan drukdrainage o.b.v. metingen	2145	1646	56	931	31934	1.9	7.9	32.0	8.4	125
Verhoef referentie berekend	1308	782	28	331	23059	1.0	2.7	15.4	4.8	51
Verhoef drukdrainage berekend	1662	1125	41	592	26847	1.3	3.4	17.6	5.7	62
Verhoef drukdrainage o.b.v. metingen	1648	1053	38	501	28163	1.3	3.4	18.4	5.8	63
Heikoop referentie berekend	2952	1271	30	567	48785	0.2	2.1	10.4	4.8	39
Heikoop drukdrainage berekend	3610	1668	41	759	60266	0.3	2.7	12.4	5.6	49
Heikoop drukdrainage o.b.v. metingen	5497	2219	51	972	59733	1.0	3.9	26.3	6.6	86

Logischerwijze bevestigt de tabel het beeld dat ook al uit de eerdere figuren naar voren kwam, namelijk dat de belasting in sterke mate toeneemt door drukdrainage. Aanvullend hierop wordt nog het volgende opgemerkt:

- Vergelijking van 'referentie berekend' met 'drukdrainage berekend' geeft inzicht in het effect van drukdrainage op de belasting via de veranderde waterstromen;
- Vergelijking van 'drukdrainage berekend' met 'drukdrainage o.b.v. metingen' laat vooral ook zien hoe de belasting verandert wanneer uitgegaan wordt van de concentraties die in de pompput zijn gemeten. Deze liggen voor sulfaat, calcium en nutriënten gewoonlijk veel hoger dan wat is aangehouden voor uit- en afspoeling. Vooral de ammoniumgehalten in het grondwater bij Baan en Heikoop zijn fors hoger. HCO3 en chloride liggen soms juist lager. IJzergehalten in het grondwater waren zeer laag, wellicht is daar bij de meting iets misgegaan (gefiltreerd?);
- De berekende debieten en P en N-belastingen kunnen worden gebruikt om te vergelijken met de kritische belasting voor de omslag van waterplanten naar kroos (zie kader op de volgende pagina). Beter is echter om een modellering uit te voeren met het ecosysteemmodel PCDitch. De reden daarvoor is dat drukdrainage vooral 's zomers leidt tot een toename van de stofbelasting. Op jaarbasis is het verschil veel kleiner. Om de effecten van een continue aanvoer van nutriënten goed in beeld te kunnen brengen, is een 'dynamische' modellering nodig, waarbij wordt gerekend met water- en stofstromen op dagbasis.

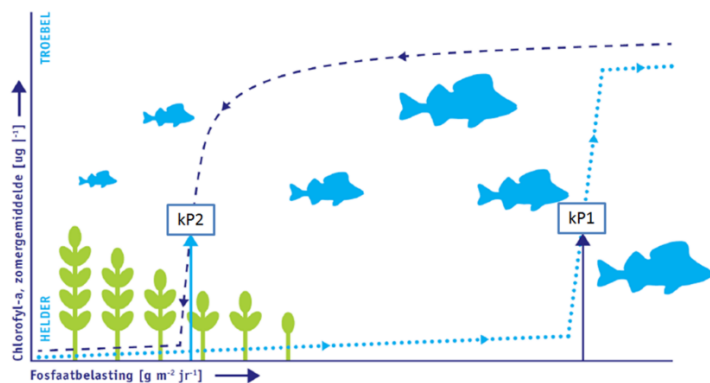
Modellering met ecosysteemmodel PCLake is een logische vervolgstap op de hier gepresenteerde analyse.

Kader: theoretische achtergrond kritische belasting

Een meer kan helder en plantenrijk zijn of het kan troebel zijn door algen, een sloot kan helder zijn met ondergedoken waterplanten of er kan een dichte krooslaag op drijven. In beide gevallen is de nutriëntenbelasting de bepalende factor voor de toestand. Het niveau van nutriëntenbelasting waarop het watersysteem overgaat (omslaat) van de ene toestand in de andere, heet de kritische belasting (Scheffer 1998, Janse 2005, Jaarsma et al 2008). Dit wordt uitgedrukt in de hoeveelheid nutriënten (N en P) per eenheid van wateroppervlak per tijdseenheid (bijv. gram P/m²/jaar).

De kritische belasting is systeemspecifiek, dat wil zeggen voor ieder water uniek. Kort gezegd geldt dat hoe groter en dieper een water is, hoe eerder de belasting een niveau bereikt waarbij de helderheid en waterplanten afnemen en de toestand omslaat naar troebel. Het water is dus gevoeliger voor nutriëntenbelasting. Ook het bodemtype (zand, klei of veen), troebeling door humuszuren en de verblijftijd beïnvloeden de gevoeligheid van wateren voor nutriëntenbelasting.

Er worden twee kritische grenzen onderscheiden, kP1 (bovengrens) geeft de omslag weer van een helder naar een troebel systeem, kP2 (ondergrens) van troebel naar helder. De weg terug (van troebel naar helder) verloopt dus anders dan de weg heen. Figuur 3-16 geeft dat schematisch weer, voor een nadere toelichting wordt verwezen naar Jaarsma et al (2008).



Figuur 3-16. Alternatieve stabiele toestanden en kritische grenzen (Jaarsma et al 2008).

4 Synthese

Hieronder worden de bevindingen van de gegevensanalyse besproken in relatie tot de vraag. Daartoe wordt eerst kort de doelstelling, de aanpak, de hypothese en de proefopzet besproken. Vervolgens wordt ingegaan op de effecten op de waterstromen en de waterkwaliteit.

Doelstelling

Het doel is om de tijdens de pilot verzamelde gegevens, van waterkwaliteit, vegetatie en hydrologie, in samenhang te analyseren. Het achterliggende doel is om een inschatting te geven van het effect van drukdrainage op de fysisch-chemische- en ecologische kwaliteit van het oppervlaktewatersysteem.

Aanpak

De volgende aanpak is gevolgd bij het bepalen van de effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit:

- In beeld brengen van waterstromen oppervlaktewatersysteem;
- Koppelen van meetgegevens van waterkwaliteit aan deze waterstromen;
- Bepalen van belastingen voor verschillende bronnen in verschillende situaties.

In samenhang interpreteren van de resultaten van de balansen en meetgegevens.

Hypothese

Onder invloed van drukdrainage veranderen de waterstromen als volgt:

- Uitspoeling (of afvoer via het drainagesysteem) neemt toe;
- Afspoeling (of oppervlakkige afvoer via greppels) neemt toe;
- Inlaat neemt toe.

De verwachting voor het effect op de waterkwaliteit is dat:

- Korte termijn: Omdat er in de zomerperiode meer inlaatbehoefte is, wordt verwacht dat de waterkwaliteit eerder in het seizoen en in sterkere mate op die van het inlaatwater (rivierwater) gaat lijken. Aan het einde van de zomer/in het najaar mag worden verwacht dat er vanwege de hogere grondwaterstanden eerder uit- en afspoeling optreedt. Wat het effect hiervan is op de waterkwaliteit, hangt af van de samenstelling van het uitspoelende grondwater. Dit is eigenlijk op voorhand niet te zeggen. Wel is de verwachting dat drukdrainage leidt tot een toename van de debieten en daarmee van de belasting van het watersysteem met stoffen (o.a. N en P);
- Lange termijn: het beoogde effect van drukdrainage is een afname van de veenaafbraak. Hierdoor wordt verwacht dat de gehalten aan nutriënten en macro-ionen in de uit- en afspoeling gaan afnemen. Net als op de korte termijn zullen de debieten van inlaat, uit- en afspoeling toenemen. Wat dit voor de waterkwaliteit betekent is vooral afhankelijk van de kwaliteit van inlaat- en grondwater.

Proefopzet

Er is op drie locaties een pilot drukdrainage uitgevoerd. Op iedere locatie is er één perceel ingericht voor drukdrainage en één referentieperceel. In het drukdrainageperceel zijn beide sloten aan weerszijden van het perceel afgedamd en is het waterpeil met 15-20cm opgezet. Eén van beide sloten is aangesloten op het drukdrainagesysteem. Het systeem pompt vanuit deze sloot water het perceel in, zodra de grondwaterstand beneden een bepaald niveau zakt. In twee van de drie pilots kan er ook grondwater het perceel uit worden gepompt de sloot in. Inkomende en uitgaande debieten van het drukdrainage systeem en de daarmee verbonden sloot zijn gemeten, evenals het waterpeil in de sloten en de grondwaterstanden in beide percelen (ook referentie). Waterkwaliteit is gemeten in de drie sloten (referentie en 2x drukdrainage) en op een regulier meetpunt van het waterschap in de omgeving, het grondwater in de drukdrainageput éénmalig.

4.1 Waterbalans

Om de waterkwaliteitsgegevens te kunnen interpreteren zijn eerst waterbalansen opgesteld voor de sloten in de referentiesituatie en de situatie met drukdrainage. Uit vergelijking tussen gemeten debieten, grond- en oppervlaktewaterstanden en de variatie in chloridegehalten, blijkt dat de balansen het systeem goed beschrijven en dat de balansposten realistisch zijn, ook voor de referentiesituatie. De balans helpt daarmee om inzicht te krijgen in de waterstromen in een situatie mét en zonder drukdrainage.

De waterbalansen laten vooral duidelijke effecten zien van drukdrainage op de waterstromen in het zomerhalfjaar (mei – september), de effecten in het winterhalfjaar zijn relatief gering. Drukdrainage leidt in de zomer tot een toename van uit- en afspoeling en - vooral - inlaat. Volgens de modelberekeningen kan de hoeveelheid inlaatwater wel met een factor 4 toenemen. De totale waterstroom in de zomer neemt met een factor 2-3 toe, wat betekent dat de verblijftijd van het water 's zomers eveneens met factor 2-3 wordt verkort. Voor het winterhalfjaar wordt er in een situatie met drukdrainage een toename in waterstromen van circa 10-15% berekend.

4.2 Waterkwaliteit

Zoals uit bovenstaande blijkt, lukt het dus aardig goed om de effecten van drukdrainage op de waterstromen in beeld te brengen. De interpretatie van de waterkwaliteitsgegevens, en het duiden van de effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit, is echter een stuk lastiger. Dit komt onder andere door de vele processen die van invloed zijn op de waterkwaliteit. Belangrijk zijn o.a. pyrietoxidatie, sulfaatreductie, veenaafbraak, binding- en nalevering van (ijzergebonden) fosfaat en opname van nutriënten door waterplanten en algen.

Deze processen leiden tot een wisselende chemische samenstelling van het grond- en oppervlaktewater in de tijd. Dus ondanks dat de waterstromen goed in beeld zijn, maakt de wisselende kwaliteit van die waterstromen de interpretatie lastig. Dat geldt vooral voor de kwaliteit van het ondiepe grondwater dat, al dan niet via drukdrainage, wordt afgevoerd naar de sloten. De kwaliteit van dit grondwater is in belangrijke mate bepalend voor de oppervlaktewaterkwaliteit in de sloten². Bovendien zal het naar verwachting ook veranderen onder invloed van drukdrainage. De chemische samenstelling van het grondwater is echter de grote onbekende, het is in de drukdrainagepercelen slechts éénmalig in de pompput gemeten. Deze meting is zoals verwacht niet representatief voor de kwaliteit van het grondwater wat jaarrond uit de (referentie)percelen uitspoelt. De metingen laten echter zien dat het óók niet representatief voor wat er via drukdrainage wordt afgevoerd.

Om de metingen van de waterkwaliteit in de sloten te interpreteren, zijn deze geïnterpreteerd in relatie tot de waterstromen én de processen. De belangrijkste processen in de percelen hangen samen met pyrietoxidatie en aerobe- en anaerobe afbraak van veen onder invloed van o.a. zuurstof, nitraat en sulfaat. Onderstaand wordt daar verder op ingegaan.

4.2.1 Sulfaat en pyrietoxidatie

Kenmerkend voor de waterkwaliteit van de veenpolders in de Alblasserwaard zijn de hoge sulfaatgehalten in de winter. Dit sulfaat wordt gevormd door oxidatie van pyriet (FeS_2) in de percelen. Die oxidatie treedt op wanneer de grondwaterstanden uitzakken in een droge zomer, het gevormde sulfaat spoelt uit in het

² Uiteraard is ook de chemische samenstelling van het inlaatwater sterk bepalend voor de oppervlaktewaterkwaliteit in de zomer, dit is echter in grote lijnen bekend omdat het maandelijks wordt gemeten.

winterhalfjaar. Daarmee is sulfaat een belangrijke indicator voor de veenoxidatie, het proces dat met drukdrainage gepoogd wordt te remmen.

4.2.2 Ecologische relevantie van sulfaat

Sulfaat is niet alleen een goede indicator voor pyriet- en veenoxidatie, maar ook een relevante stof voor de waterkwaliteit en daarvan afhankelijke ecologie. Sulfaat speelt (samen met ijzer) een belangrijke rol in de fosfaathuishouding, in de anaerobe afbraak van organisch materiaal (veen, dode planten en algen) en kan onder bepaalde omstandigheden in de waterbodem ophopen als toxisch sulfide. Een hoge sulfaatbelasting kan via interne eutrofiering leiden tot een sterke woekering van waterplanten, een sterke kroosontwikkeling of zelfs het geheel verdwijnen van waterplanten door troebeling of toxiciteit. De aanwezigheid van veel (een overmaat aan) ijzer kan de negatieve effecten van sulfaat echter deels tenietdoen. In de pilots lijkt dat bijvoorbeeld in één geval (bij Heikoop) het geval te zijn; ondanks dat hier de hoogste sulfaatgehalten zijn gemeten, is het water relatief arm aan fosfaat en is er een redelijk diverse vegetatie aangetroffen. Het oppervlaktewater is hier ook het ijzerrijkst.

4.2.3 Verzuring, buffering en calciumuitspoeling

Een andere gevolg van pyrietoxidatie is verzuring, bij gedeeltelijke of gehele oxidatie van pyriet komt veel zuur vrij. Dit wordt gebufferd door bicarbonaat of kalk in de bodem, hierbij lost kalk op en komt er veel calcium vrij. Wanneer grondwater uitspoelt naar het oppervlaktewater komt er dan niet alleen veel sulfaat vrij, maar ook (een evenredige hoeveelheid) calcium. Wanneer de buffercapaciteit van de bodem onvoldoende is om de zuurproductie te neutraliseren, kan het ook in het oppervlaktewater leiden tot een afname van de buffercapaciteit (door HCO_3) en verzuring (daling pH). Ook dit is in de winter zichtbaar bij Heikoop (en in beperkte mate bij Verhoef) in de drukdrainagesloten, maar niet in de referentiesloot. *NB! Lage grondwaterstanden leiden tot bodemdaling door inklinking (structuurverandering), maar een belangrijke vraag is of de verzuring door pyrietoxidatie de afbraak van veen in de bodem niet remt.*

4.2.4 Start pilot met erfenis van droge zomer 2018

In de metingen is te zien dat de sulfaatgehalten in de eerste maanden van 2021 zeer hoog zijn en gedurende de pilot afnemen, zowel in de referentiesloten als de drukdrainagesloten. Dit is waarschijnlijk nog een erfenis van de zeer droge zomer van 2018, waarbij grondwaterstanden ver zijn uitgezakt. Echter ook 2020 was erg warm en droog, evenals 2022 en mei-juni 2023. Het is van belang dit mee te nemen bij de interpretatie van de meetgegevens.

4.2.5 Verschil drukdrainage en referentie

De opzet van de monitoring is zo gekozen, dat er een vergelijking kan worden gemaakt tussen drukdrainage en referentie. Vanwege de verschillen tussen de locaties, de complexiteit qua processen en de interactie tussen waterkwaliteit en waterstromen, is het echter niet mogelijk om bijvoorbeeld de verschillen in concentraties statistisch te toetsen. Het gaat dan ook veel meer om het begrip van wat er gebeurt; het 'verhaal' dat er uit de data is af te leiden. Hieronder is per deelnemer gepoogd om dat te beschrijven:

- Heikoop: de percelen bestaan grotendeels uit klei, met een tussenlaag van circa 50cm veen in de bovenste meter. Daarmee wijkt de situatie af ten opzichte van de andere deelnemers. Zowel in de waterbalans als in de waterkwaliteitsmetingen is dit zichtbaar, bij Heikoop lijkt er sprake van relatief veel oppervlakkige afstroming. De sulfaat- en ijzergehalten zijn hier het hoogst, fosfaatgehalten juist het laagst. Er lijkt sprake van een overwegend minerale (klei) bodem met veel pyriet, maar ook veel bindingscapaciteit voor fosfaat (o.a. ijzer). Waterkwaliteit en ecologische kwaliteit zijn hier het best. Drukdrainage lijkt op korte termijn vooral in de winter te leiden tot hogere sulfaat-, ammonium- en

ijzergehalten, lagere bicarbonaatgehalten en een lagere pH. Het door pyrietoxidatie gevormde zuur wordt kennelijk niet volledig gebufferd, alvorens het (via drukdrainage) de sloten instroomt. Vanaf de zomer van 2022 worden de verschillen met de referentiesloot minder duidelijk.

- Baan: in bepaald opzicht neemt Baan een positie tussen beide andere deelnemers. In vergelijking met Heikoop bestaat de bodem voor een veel groter deel uit veen, maar de toplaag van circa 30-40cm bestaat voornamelijk uit klei. De sulfaat- en ijzergehalten zijn hier het laagst, de fosfaatgehalten liggen tussen die van beide andere deelnemers in en zijn matig hoog. Drukdrainage lijkt hier vooral effect te hebben op de 'parallele drukdrainage-sloot', die een meer regenwaterachtig karakter heeft met lagere gehalten aan sulfaat, calcium, chloride en bicarbonaat. De verschillen tussen de drukdrainage_Put-sloot en de referentiesloot zijn niet eenduidig. Wel laat de referentiesloot in 2021 een forse piek zien in fosfaat die wijst op nalevering vanuit de waterbodembodem, in de drukdrainagesloten is dat niet te zien. Wellicht dat drukdrainage het effect van nalevering beïnvloedt, bijvoorbeeld via een verkorting van de verblijftijd.
- Verhoef: hier bestaat de bodem tot circa 2,5 meter diepte vrijwel volledig uit veen. De sulfaat- ijzer en calciumgehalten zijn hoog, de fosfaatgehalten zijn zéér hoog. Op deze locatie worden ook de hoogste fosfaatgehalten gemeten. Opvallend is dat fosfaat zowel 's zomers als 's winters duidelijke pieken vertoont. De pieken in de winter zijn in de drukdrainage sloten veel hoger dan in de referentiesloot, ze worden veroorzaakt door uit- en afspoeling; al dan niet via de drukdrainage. Bij Verhoef wordt er niet actief via de drukdrainage uitgedumpt, maar wellicht draineert het systeem de percelen wel. Het fosfaatgehalte in het grondwater is hier veruit het hoogst, ortho-P is met 1,1 mgP/l ruim 4 keer zo hoog als bij beide andere deelnemers en totaal-P met 3 mgP/l circa 2 tot 8 keer hoger dan bij respectievelijk Baan en Heikoop. De pieken in de zomer wijzen op nalevering vanuit de waterbodembodem (door diffusie of via biota zoals planten en algen). Deze is fors hoger in de drukdrainagesloten.

4.2.6 Effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit

Zoals blijkt uit bovenstaande zijn de effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit, in termen van concentraties van o.a. nutriënten en macro-ionen, niet eenduidig af te leiden uit de data. De meetperiode is relatief kort en valt samen met een dalende trend in het sulfaatgehalte na enkele droge zomers. De trend in sulfaat lijkt zich pas eind 2023 te stabiliseren. Het zou daarom zeer waardevol zijn om te kijken hoe de waterkwaliteit (in het bijzonder sulfaat) zich in de toekomst na een droge zomer in de situatie met drukdrainage ontwikkelt ten opzichte van de referentie.

Verder is gebleken dat de situaties bij de deelnemers sterk verschillen. Dit heeft gevolgen voor de wijze waarop de drukdrainage, samen met de processen, van invloed is op de waterkwaliteit. Dit werpt de vraag op of het überhaupt mogelijk is om (generiek) te zeggen of drukdrainage goed of slecht uitpakt voor de waterkwaliteit.

Wel is duidelijk dat drukdrainage leidt tot een forse toename van de waterstromen en daarmee de aanvoer van o.a. nutriënten en macro-ionen in de zomerperiode. Deze toename in aanvoer vormt een risico, vooral voor wateren waar deze stoffen gewoonlijk gedurende de zomer 'opraken' (limiterend worden). De constante aanvoer van nutriënten (fosfaat en stikstof) in de groeiperiode kan, zelfs bij geringe concentraties, leiden tot overmatige waterplanten-, kroos- of algengroei.

Een constante aanvoer van bicarbonaat en sulfaat kan ook leiden tot ongewenste effecten. Bicarbonaat is van invloed op de zuurgraad en buffercapaciteit van een water en daarmee ook op de koolstofbeschikbaarheid voor waterplanten en algen. Het kan op die manier zorgen voor een verschuiving in de waterplantengemeenschap, van soorten van zwak tot matig gebufferde wateren (CO₂-gebruikers) naar soorten van harde wateren (bicarbonaatgebruikers).

Bicarbonaat is daarnaast samen met sulfaat ook van invloed op afbraakprocessen in de waterbodem. Beide stimuleren de afbraak van organisch materiaal in de waterbodem (Bloemendaal & Roelofs, 1988). Een voortdurende aanvoer van bicarbonaatrijk (hard) rivierwater en sulfaatrijk grondwater kan zo zorgen voor een verdergaande afbraak van de waterbodems in veengebieden.

Of en in welke mate effecten op de waterkwaliteit optreden is afhankelijk van de uitgangssituatie. De pilots lieten al zien dat iedere situatie weer anders is. Waar het bijvoorbeeld op lijkt is dat het aandeel klei in de percelen bepalend is voor de waterkwaliteit in de uitgangssituatie. Grofweg: hoe meer klei, hoe beter de waterkwaliteit. Waarschijnlijk hangt een hogere aandeel klei samen met een hogere bindingscapaciteit van de (land- en water)bodem voor fosfaat, maar wellicht ook met een geringere zuurstofvraag van minerale bodems (minder zuurstof nodig voor afbraak van organisch materiaal).

Wellicht biedt het verschil in aandeel klei ook aanknopingspunten om vervolgens iets te zeggen over het effect van drukdrainage op de waterkwaliteit. Generiek is dat drukdrainage in alle gevallen leidt tot een grotere invloed van inlaatwater. Daarnaast wordt door drukdrainage (op lange termijn) een afname van pyriet- en veenoxidatie in de percelen verwacht, leidend tot een lager sulfaatgehalte en een hogere pH van het uitspoelende perceelwater. Doordat de bodem grotendeels waterverzadigd en daarmee gereduceerd blijft, wordt (op korte termijn) een hogere uitspoeling van fosfaat en ammonium verwacht (Harpenslager et al, 2024).

Voor de pilots geldt dan bijvoorbeeld voor een situatie met overwegend klei of veen:

- Bij Heikoop is de huidige waterkwaliteit goed, dit lijkt samen te hangen met het grote aandeel klei in de bodem. Hier is er - vanwege de goede actuele kwaliteit - vooral een risico op verslechtering van de waterkwaliteit door drukdrainage. Op korte termijn lijkt er door drukdrainage sprake van een grotere invloed van grondwater. Dit blijkt uit een hoger sulfaatgehalte, een lagere pH en geringere buffering van het water in de drukdrainagesloot. Nutriëntengehalten lijken echter op korte termijn niet te veranderen. Verwacht wordt dat op langere termijn zowel de nutriëntenbelasting als de waterhardheid zullen toenemen, dit kan leiden tot meer woekerende waterplanten en soorten van hard water, wat moet worden gezien als een risico op verslechtering.
- Bij Verhoef bestaat de bodem vrijwel volledig uit veen en is de waterkwaliteit slecht. Deze lijkt op korte termijn door drukdrainage te verslechteren, wat zich uit in hogere fosfaatgehalten door uitspoeling (winter) en door nalevering (zomer). De waterkwaliteit lijkt hier vooral te worden bepaald door de afbraakprocessen in zowel de percelen als de waterbodem, terwijl binding van fosfaat door ijzer een minder grote rol lijkt te spelen. De vraag is uiteraard wat er op langere termijn gaat gebeuren. Wanneer drukdrainage daadwerkelijk leidt tot minder veenafbraak, zou de nutriëntenuitspoeling uit de percelen kunnen afnemen. Deze zou echter ook juist kunnen toenemen doordat binding van fosfaat aan ijzer (hoewel minder belangrijk) zal afnemen, evenals de verwijdering van ammonium via nitrificatie en denitrificatie. In het watersysteem zelf kan de afbraak van organisch materiaal in de waterbodem worden gestimuleerd door inlaat van hard water. Verkorten van de verblijftijd kan echter het effect hiervan op de algengroei weer verminderen. Kortom: er is zowel kans op verbetering als risico op verslechtering.

4.3 Conclusies en aanbevelingen

4.3.1 Conclusies ten aanzien van de hypothese

Ten aanzien van de hypothese wordt het volgende geconcludeerd:

- Drukdrainage leidt voor de pilots inderdaad tot een substantiële toename van de debieten van uit- en afspoeling en inlaat, in de zomer kan de inlaat wel met een factor 4 toenemen en wordt de verblijftijd van het water in de sloten met een factor 2-3 verkort.
- De verwachting dat door drukdrainage de waterkwaliteit in de zomer méér en eerder op inlaatwater zou gaan lijken kwam niet eenduidig naar voren uit de analyse. Reden is dat er in de zomer niet alleen meer inlaat plaatsvindt maar, via uitspoeling of drukdrainage, soms ook meer aanvoer van grondwater.
- Ten slotte leidt drukdrainage op korte termijn ook tot een toename van de belasting van het water met stoffen. Onderscheid kan worden gemaakt in een toename van de belasting door:
 1. een toename van de debieten van met name inlaat en uitspoeling in de zomer, dit leidt tot een twee- tot driemaal hogere belasting met o.a. P, N, SO₄ en HCO₃;
 2. het direct uitpompen van grondwater via het drukdrainage systeem. Eenmalige metingen van de grondwaterkwaliteit in de pompputten laten zien dat de gehalten aan P, N en SO₄ vaak zeer hoog zijn, HCO₃ is soms juist zeer laag.

Wat betreft dit laatste punt geldt dat de hoge nutriënten- en sulfaatgehalten in het grondwater pas na enige tijd pompen werden gemeten, bij geringere debieten is de kwaliteit waarschijnlijk beter.

4.3.2 Conclusies ten aanzien van de effecten op de waterkwaliteit

Ten aanzien van de effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit wordt het volgende geconcludeerd:

- De belasting van het watersysteem door stoffen (nutriënten en macro-ionen) neemt door drukdrainage toe. Hoe dit uitpakt voor de waterkwaliteit is afhankelijk van de Ausgangssituatie;
- De bodemsamenstelling heeft een belangrijke invloed op de actuele waterkwaliteit (uitgangssituatie). In de pilots geldt, hoe meer klei hoe beter de waterkwaliteit. Waarschijnlijk is dit ook bepalend voor de effecten van drukdrainage op de waterkwaliteit;
- Of drukdrainage goed of slecht uitpakt voor de waterkwaliteit is dus niet algemeen te zeggen. Beter kan worden gesproken in termen van kansen en risico's:
 - De kans op verbetering is het grootste bij een slechte waterkwaliteit in de Ausgangssituatie, het risico op verslechtering is het grootst bij een goede waterkwaliteit in de Ausgangssituatie;
 - Kans op verbetering is mogelijk wanneer drukdrainage leidt tot een sterke reductie van de veenafbraak in de percelen. Of dit ook daadwerkelijk optreedt en zal leiden tot verbetering van de waterkwaliteit is allerminst zeker. Ondanks de hogere grondwaterstanden kan veenafbraak nog steeds optreden door o.a. zuurstof dat wordt aangevoerd via oppervlaktewater of door nitraat uit mest. Ook kan de uitspoeling van fosfaat en ammonium bijvoorbeeld toch toenemen, omdat de bodem jaarrond zuurstofloos blijft (Harpenslager et al, 2024);
 - Risico op verslechtering is er vooral door een toename van de belasting van het watersysteem met nutriënten (fosfaat en stikstof) en macro-ionen (sulfaat en bicarbonaat). Dit risico is groot vanwege de toename van de nutriëntenaanvoer in de zomer, waardoor eventuele nutriëntenlimitatie wordt opgeheven.

4.3.3 Aanbevelingen

Het volgende wordt aanbevolen:

- Voortzetten van de pilots en de metingen van hydrologie en waterkwaliteit. Voor wat betreft de effecten op de waterkwaliteit is de verwachting dat het enige tijd duurt voordat dit in de metingen zichtbaar is. Eind 2023 leek de waterkwaliteit (met name sulfaat) zich te stabiliseren na de droge zomers van 2018 en 2020. De vraag is nu hoe referentie en drukdrainage zich gaan ontwikkelen na een droge zomer;
- Meten van de grondwaterkwaliteit op verschillende plaatsen en momenten in het jaar. Inzicht krijgen in de verschillen in de kwaliteit van het grondwater dat via uitspoeling en drainage wordt afgevoerd;
- Opstellen van een 'slim' meetplan, uitgaande van een optimale combinatie van metingen en modellering om met een beperkte meetinspanning de ontwikkelingen toch goed te kunnen volgen.

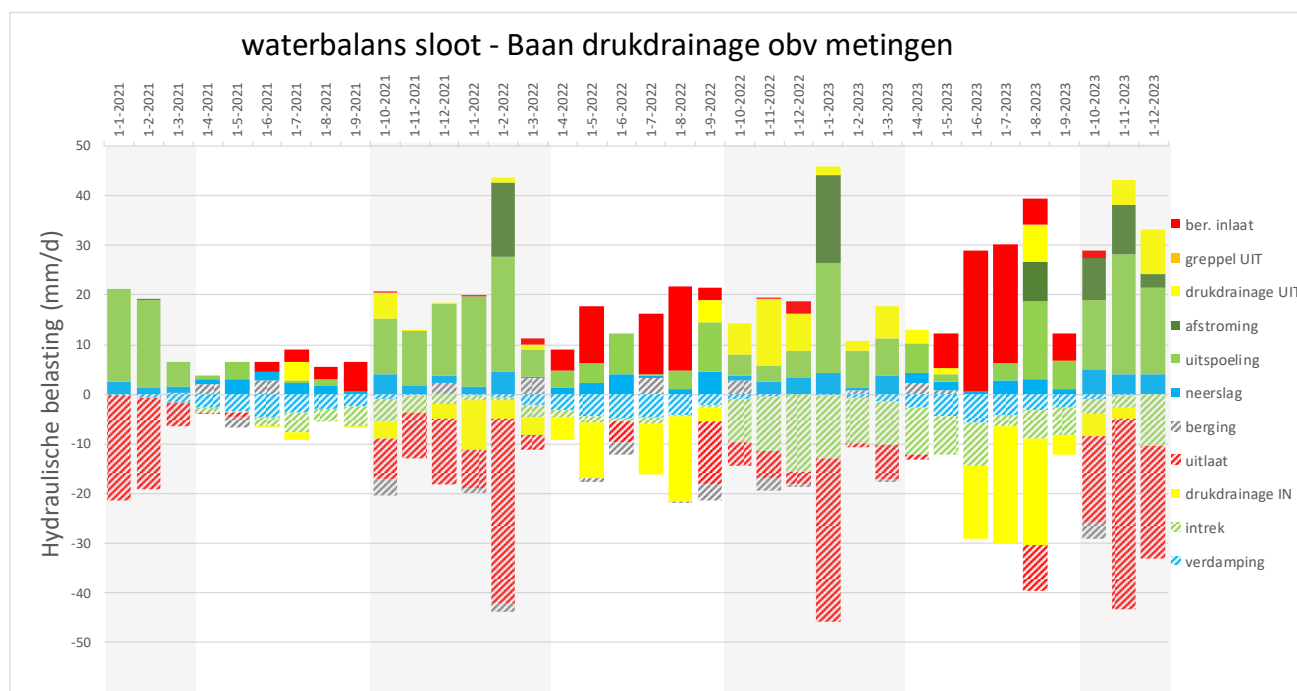
Literatuur

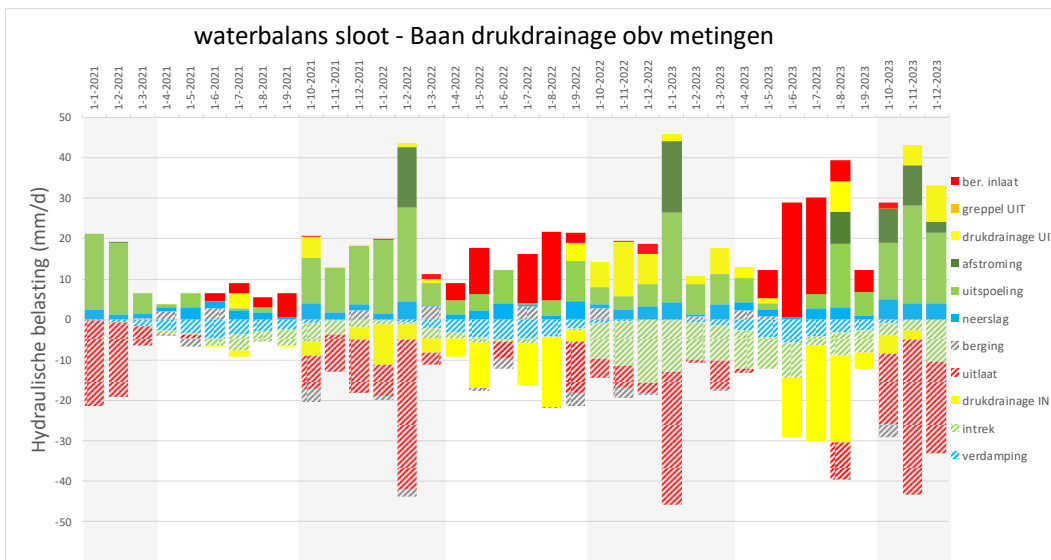
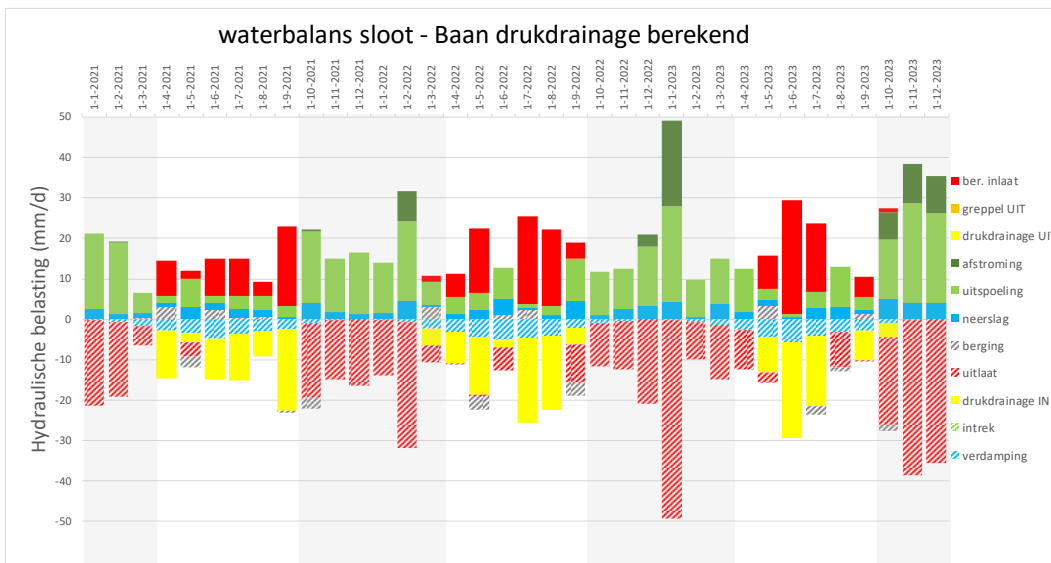
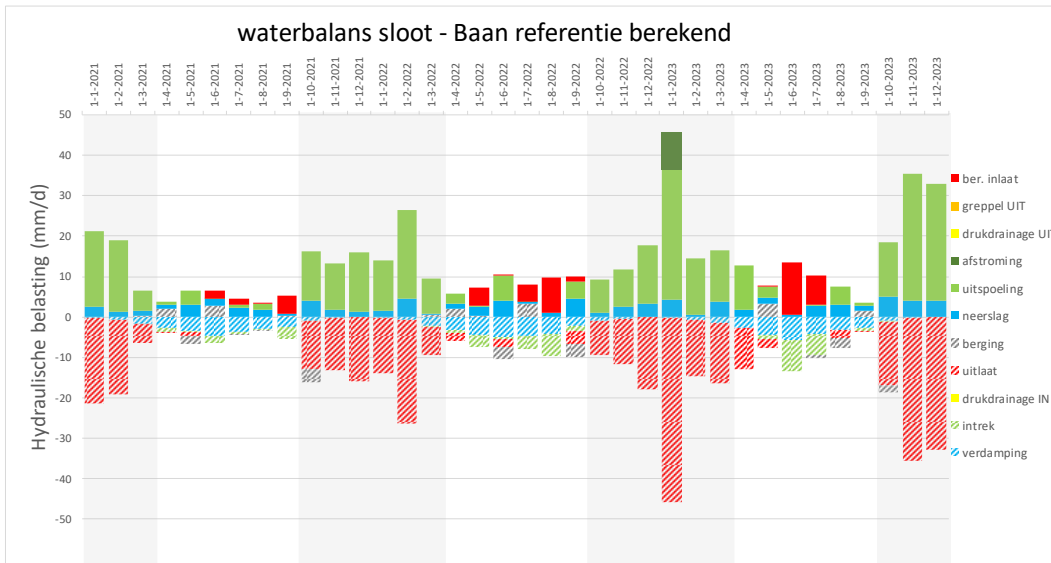
- Bloemendaal, F.H.J.L & J.G.M. Roelofs, 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. Stichting KNNV en vakgroep Aquatische Oecologie en Biogeologie van de KUN.
- Diggelen, J.M.H. van, Y.J.M. Verstijnen, J.G.M Roelofs et al., 2020. Uniek verschijnsel in de Groene Waterparel. Katteklei in de bodem leidt tot vegetaties van Oeverkruid-klasse in boerensloten. LANDSCHAP 37(2): 86-97.
- Jaarsma, N, M. Klinge en L. Lamers, 2008. Van helder naar troebel...en weer terug. STOWA rapport 2008-04. Stowa, Utrecht.
- Janse, J.H. (2005): Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Proefschrift Wageningen Universiteit. 376p.
- Sarah F. Harpenslager, Gijs van Dijk, Jim Boonman, Stefan T.J. Weideveld, Bas P. van de Riet, Mariet M. Hefting, Alfons J.P. Smolders, 2024. Rewetting drained peatlands through subsoil infiltration stabilises redox-dependent soil carbon and nutrient dynamics, *Geoderma*, Volume 442, 2024, 116787, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116787>.
- Scheffer, M. (1998): Ecology of shallow lakes. Population and Community Biology Series 22. Chapman & Hall, London. 357p.
- Van den Eertwegh, G., Deijl, D. (2022) Regelbare drainage met subirrigatie en hogere slootpeilen in regio Alblasserwaard-Vijfheerenlanden. Realisatie van hogere grondwaterstanden ter reductie van maaiveld daling in veenweidegebieden. KnowH2O.
- van der Wijngaart (STOWA), Tessa, Gerard ter Heerdt (Waternet), Ronald Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland), Leon van den Berg (Radboud universiteit Nijmegen), Bob Brederveld (Witteveen+Bos), Jeroen Geurts (Radboud universiteit Nijmegen), Nico Jaarsma (Witteveen+Bos), Leon Lamers (Radboud universiteit Nijmegen), Leonard Osté (Deltares), Moni Poelen (B-Ware), Fons Smolders (B-Ware), Rikje van de Weerd (ARCADIS). BAGGERNUT, MAATREGELEN BAGGEREN EN NUTRIËNTEN OVERKOEPELEND RAPPORT. STOWA rapport 2012-40.
- Van Wirdum, G. 1991. Vegetation and hydrology of floating rich-fens. Datawyse, Maastricht. 310 p.
- Vermaat, J.E., J. Harmsen, F.A. Hellmann, H.G. van der Geest, J.J.M. de Klein, S. Kosten, A.J.P. Smolders, J.T.A. Verhoeven, R.G. Mes & M. Ouboter (2013): Sulfaatbronnen in het Hollandse veenlandschap. *Landschap* 30(1): 5-13.

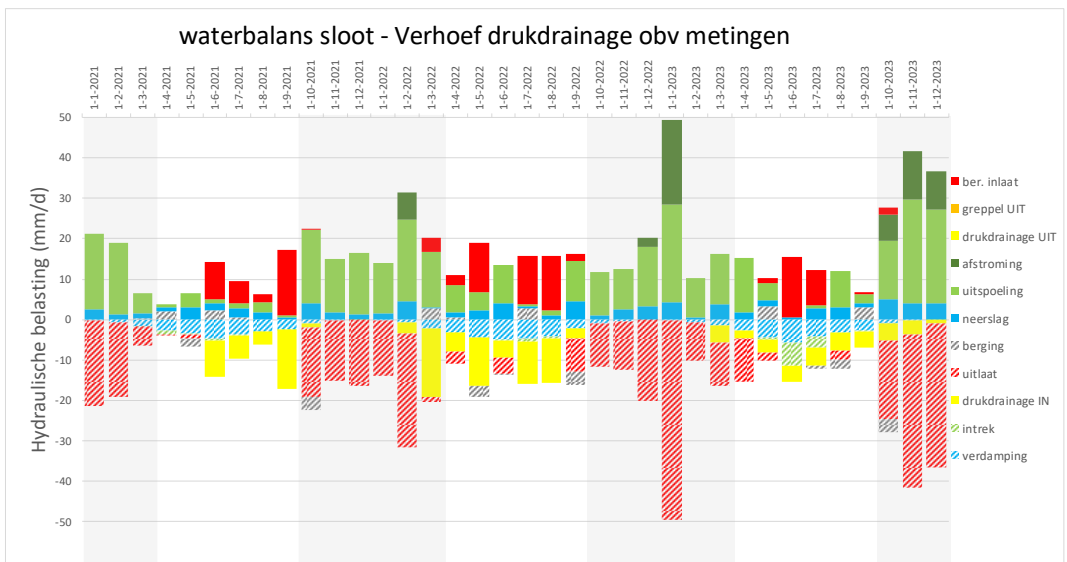
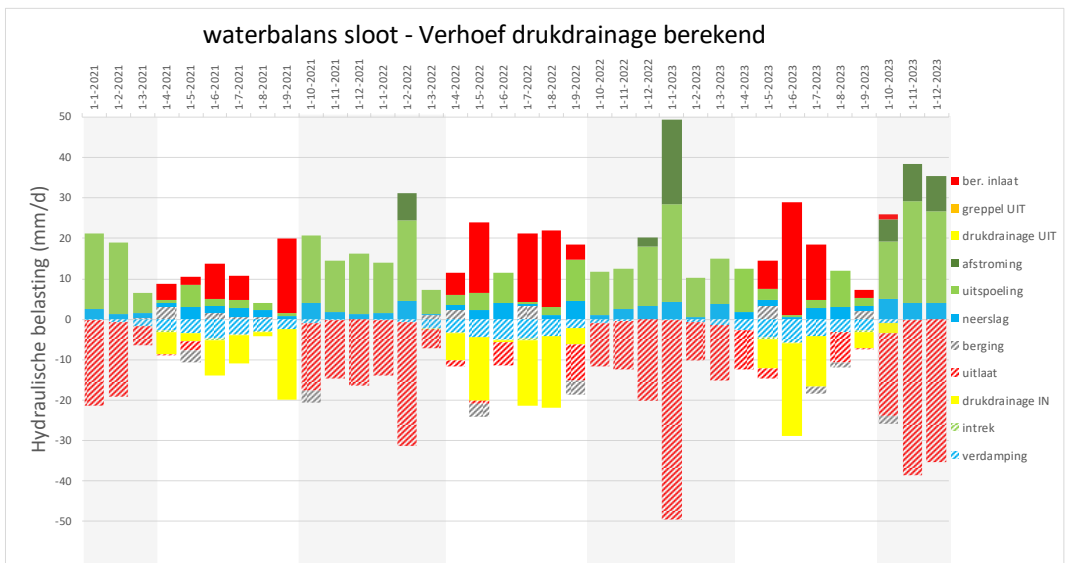
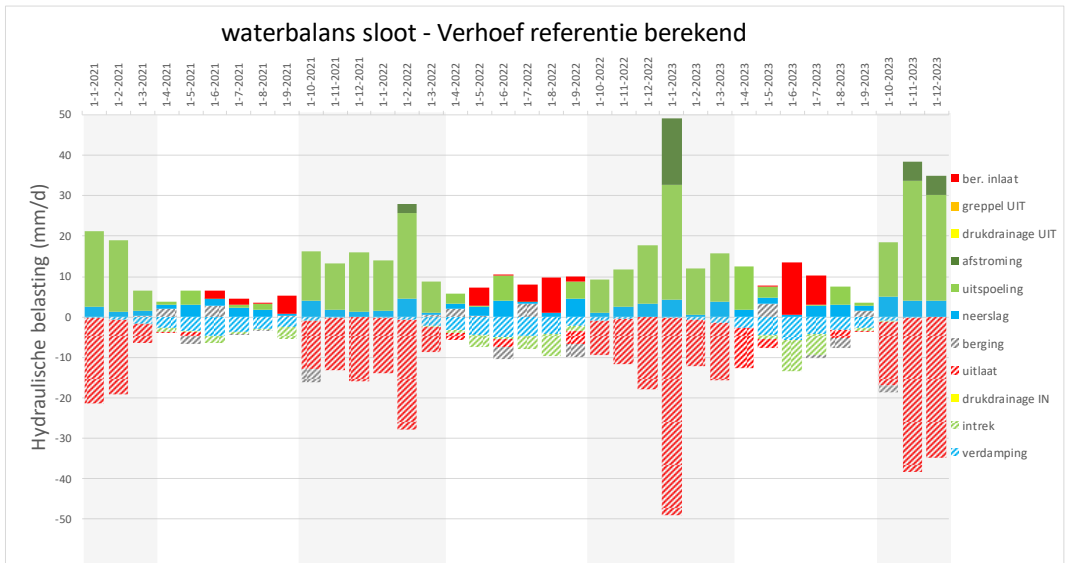
Bijlage I - Waterbalansen

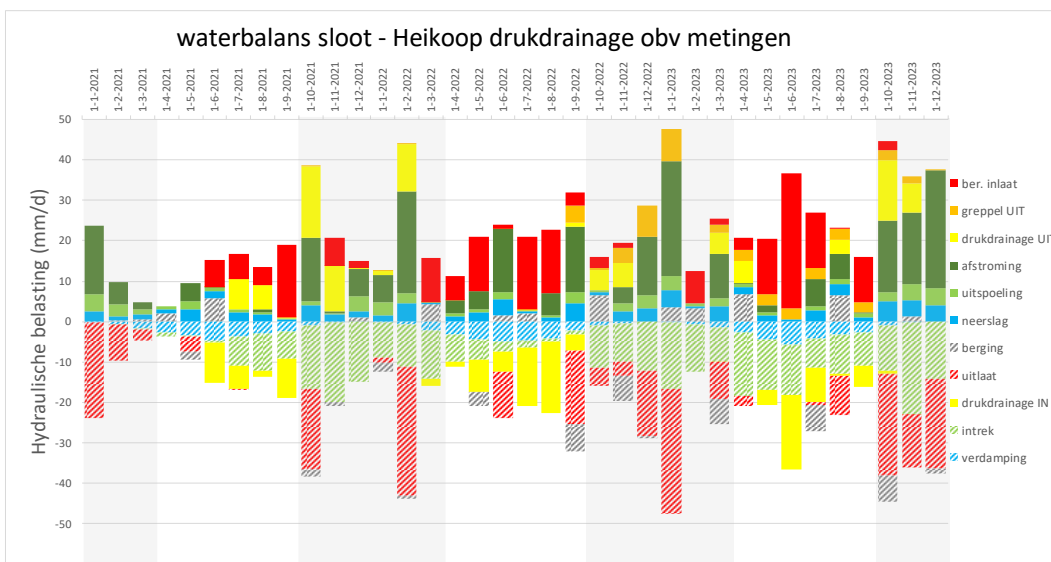
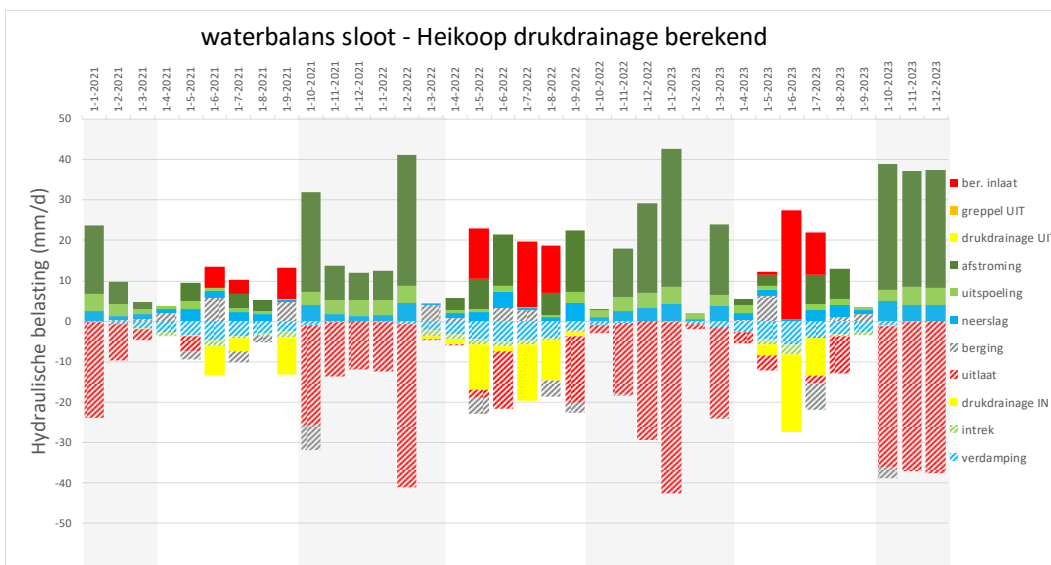
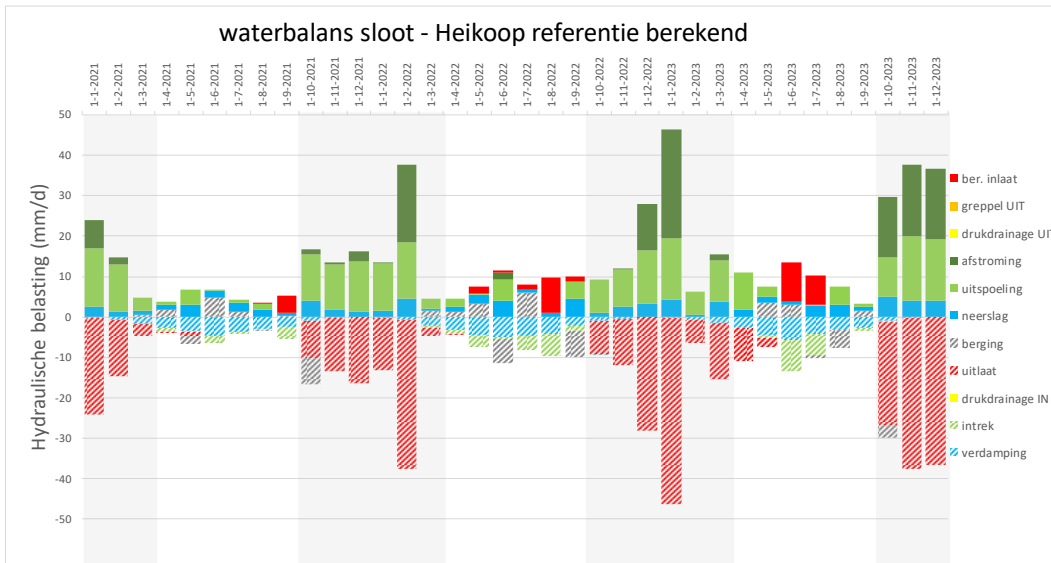
Waterbalansen in mm/dag

Op de volgende pagina's staan de figuren van de in- en uitgaand posten van de waterbalans in mm/dag per deelnemer, in een situatie met en zonder drukdrainage. De waterbalans is voor de (perceel) sloot, inkomende posten zijn positief (boven de nullijn), uitgaande negatief. 1 mm/d staat gelijk aan 1 liter water per vierkante meter wateroppervlak per dag.







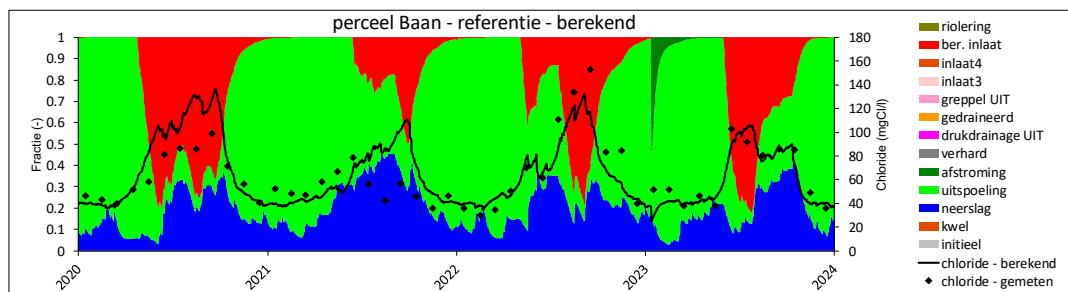


Bijlage II – Controle waterbalans

De figuren op de volgende pagina's zijn gebruikt ter controle van de waterbalansen. Het gaat om:

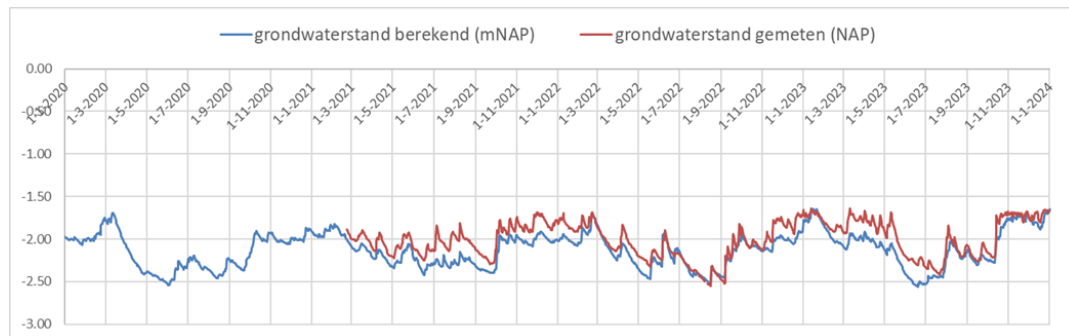
Fractieverdeling en chloride

De waterbalans gaat uit van de hydromorfologische kenmerken uit Tabel 2-2, samen met neerslag en verdamping op station Herwijnen. Dit levert een fractieverdeling van de herkomst van het water op, zoals onderstaande figuur laat zien. Deze wordt dagelijks opnieuw berekend. Op basis van die fractieverdeling en het chloridegehalte per bron, wordt ook het chloridegehalte in de sloot berekend. Dit kan worden vergeleken met meetgegevens van chloride in de sloot. Dit is een eerste check van de balans.



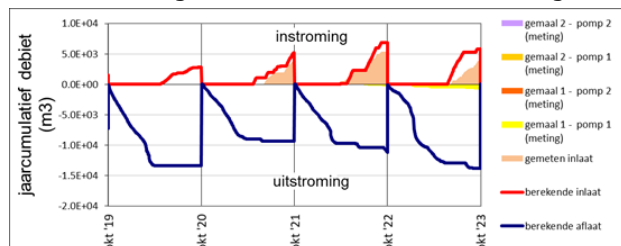
Grondwaterstanden

De waterbalans berekent ook grondwaterstand onder invloed van neerslag, verdamping, uitspoeling en intrek. Afhankelijk van de drooglegging en de porositeit van de bodem is er een bepaalde ruimte die beschikbaar is om water (neerslag en oppervlaktewater) te bergen in het perceel, alvorens het water tot afstroming komt (oppervlakkige afspoeling). Onderstaande figuur laat de vergelijking tussen berekende en gemeten grondwaterstand zien, dit is de tweede check.

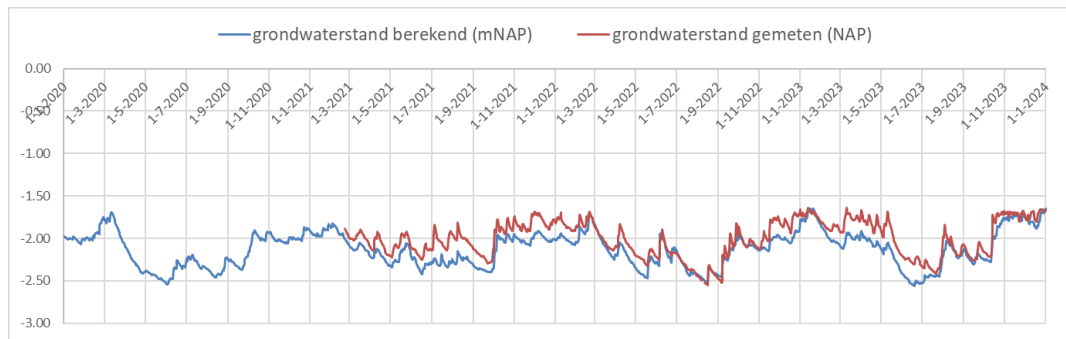
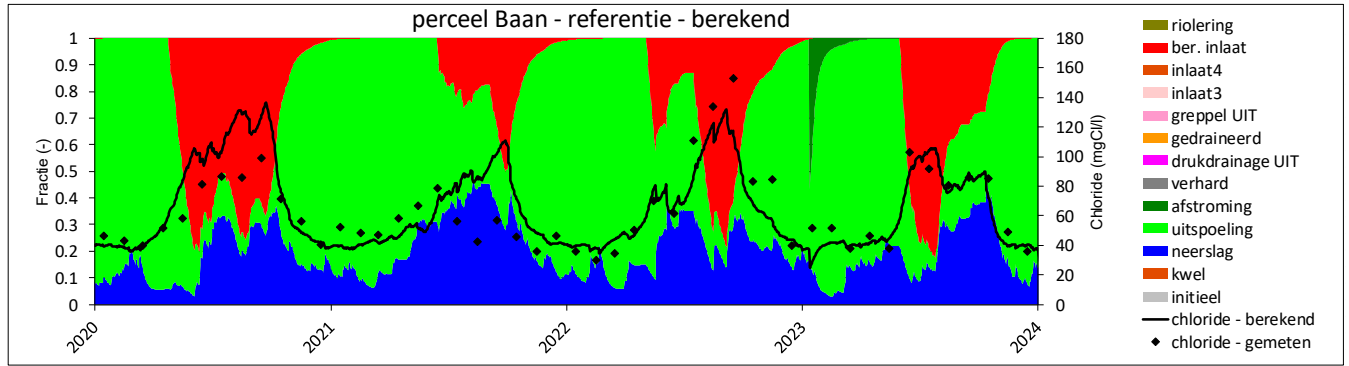


Inlaatdebieten

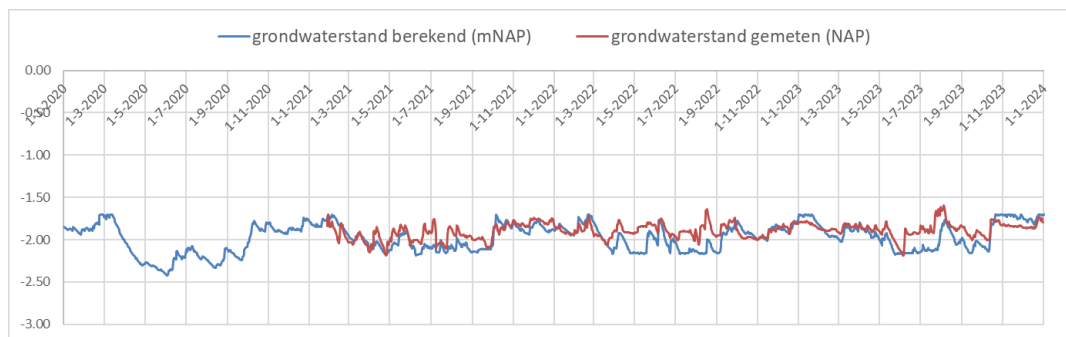
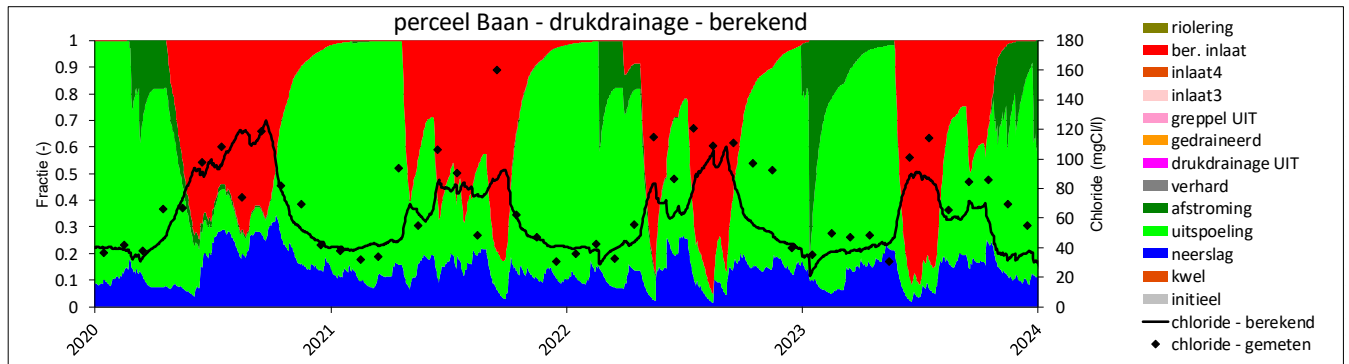
Een derde check is of de waterstromen die worden berekend, overeenkomen met de gemeten waterstromen. Vaak zijn er gemaaldata, waaraan kan worden getoetst (in de figuur cumulatief weergegeven, okt-okt). In dit geval zijn bij Baan en Heikoop de inlaatdebieten voor de drukdrainage gemeten (roze vlak). Deze kunnen worden vergeleken met de berekende debieten (rode lijn). NB! Soms ontbreken er gedurende enkele weken of langer meetdata.

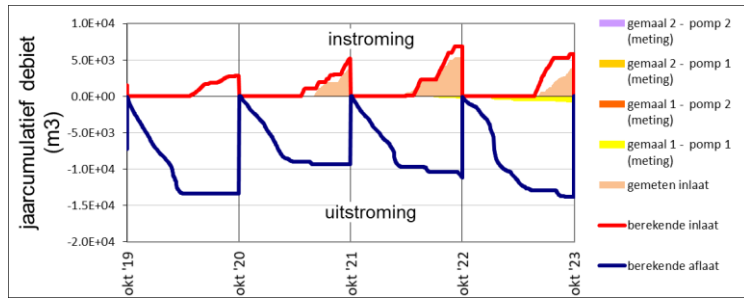


Baan referentie

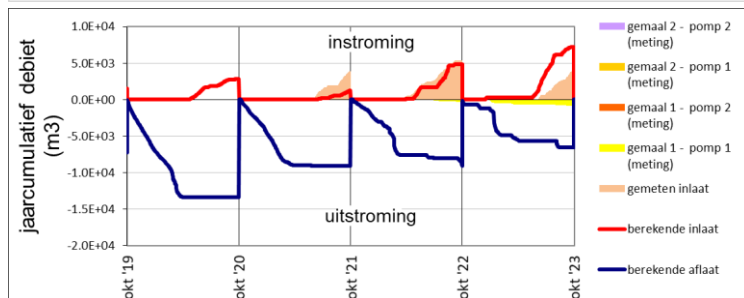
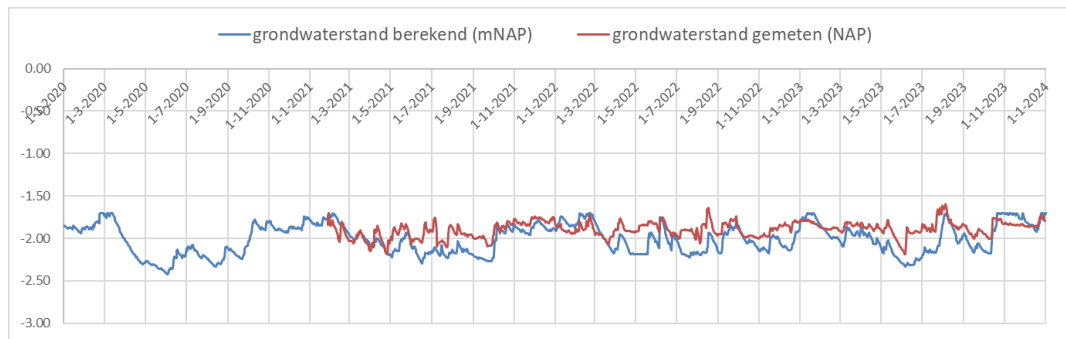
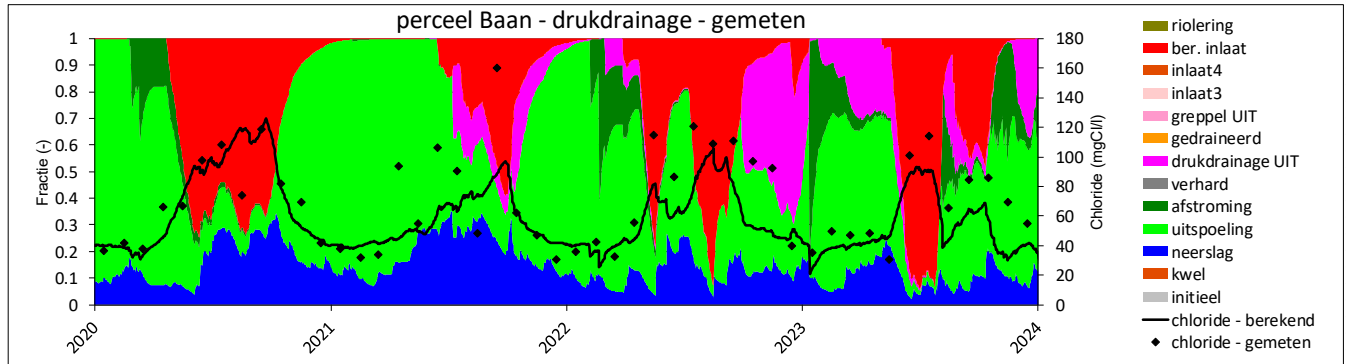


Baan drukdrainage berekend

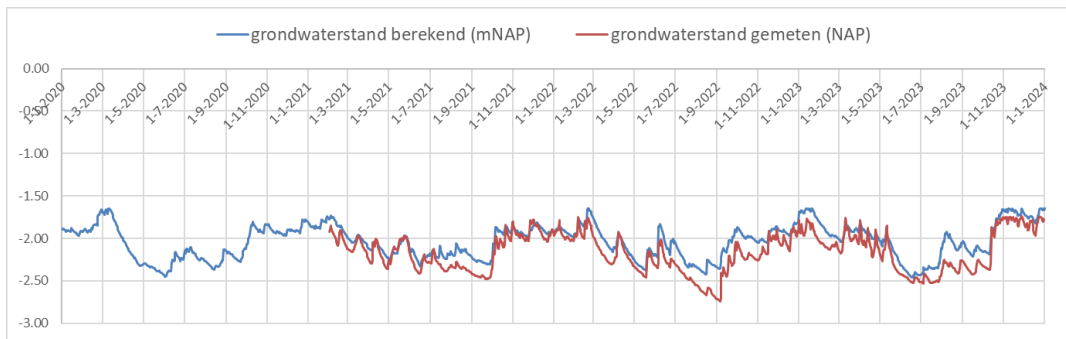
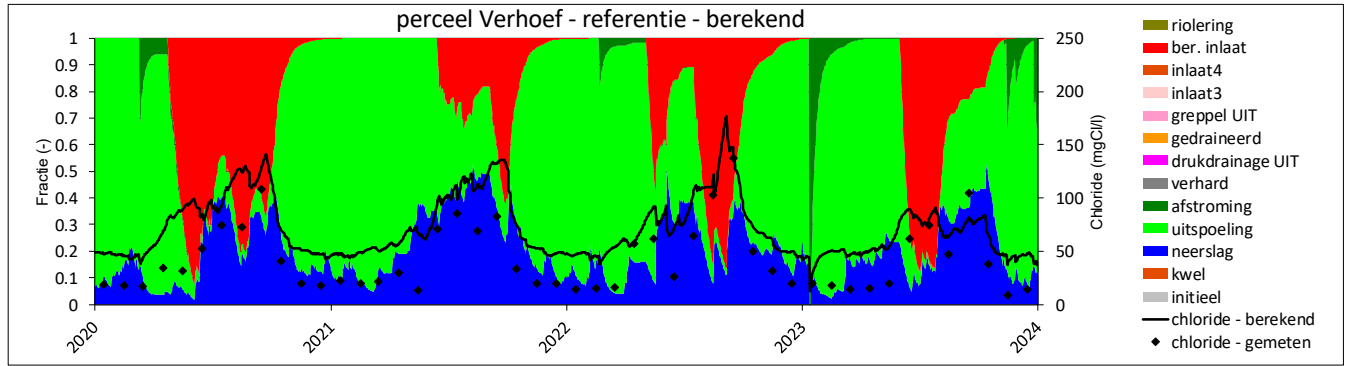




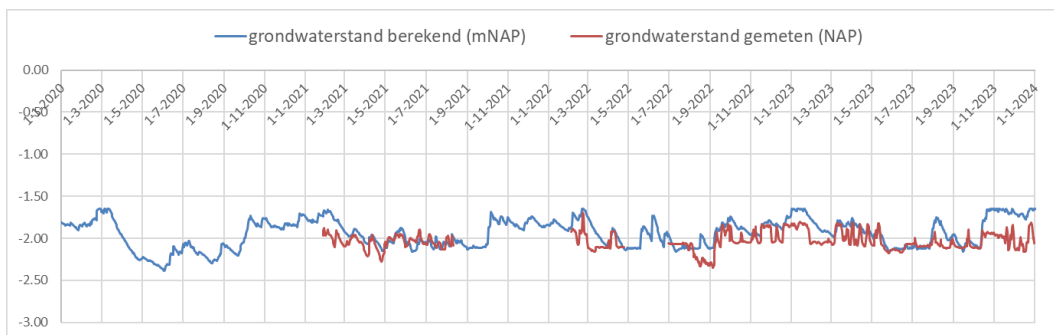
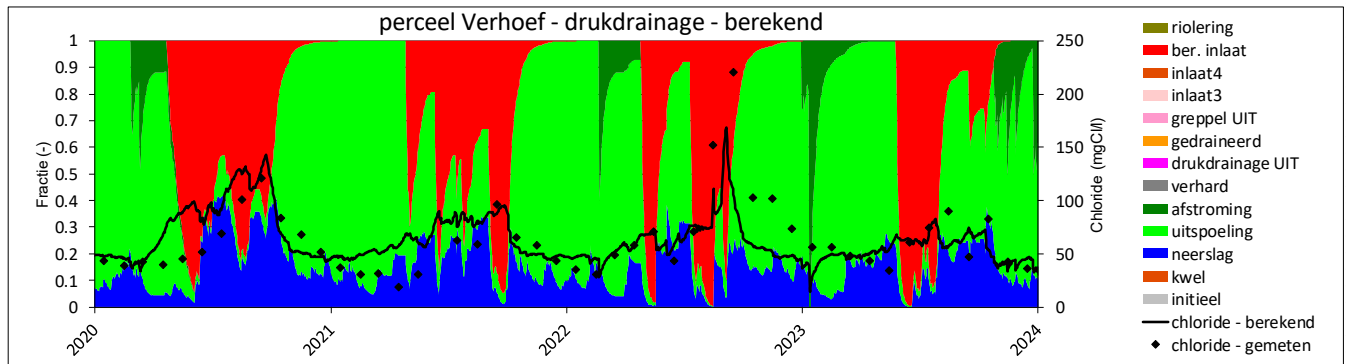
Baan drukdrainage gemeten



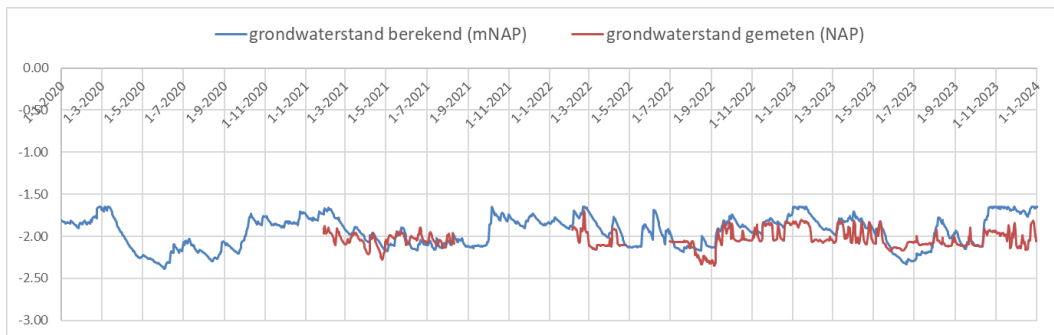
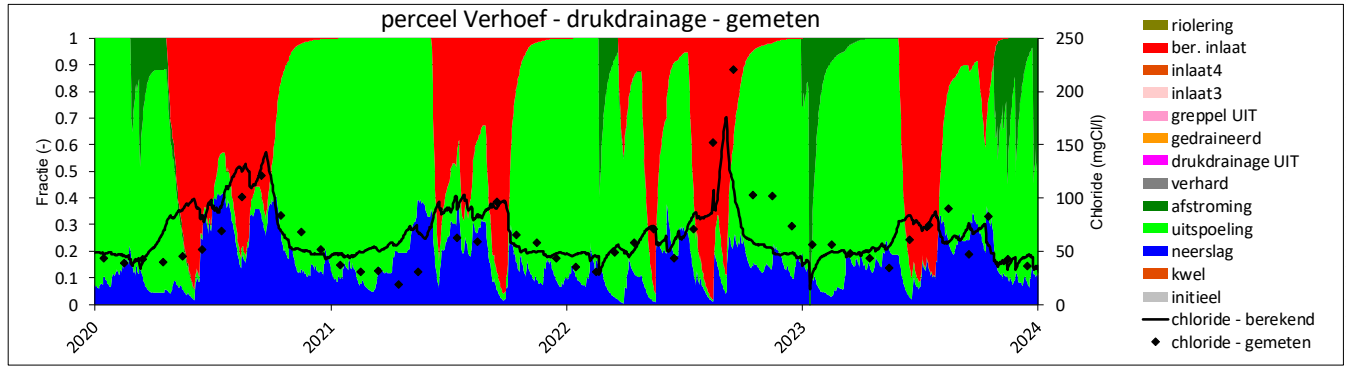
Verhoef referentie berekend



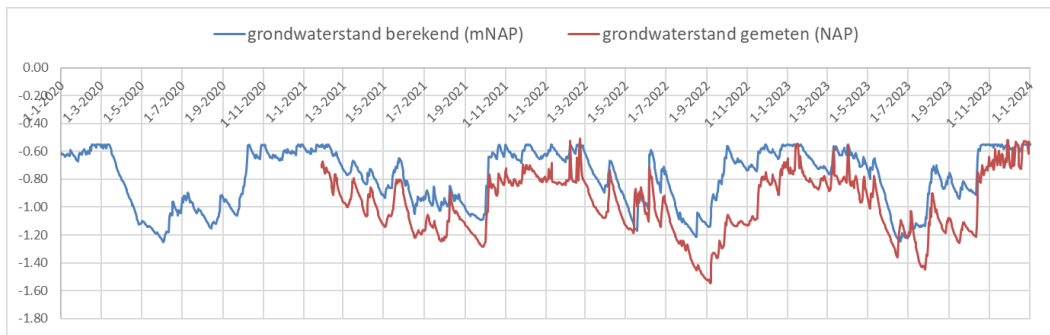
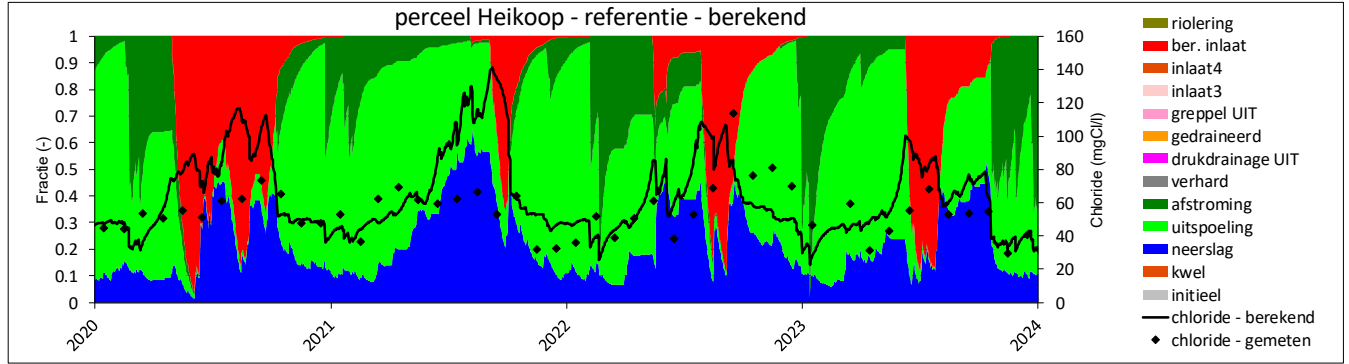
Verhoef drukdrainage berekend



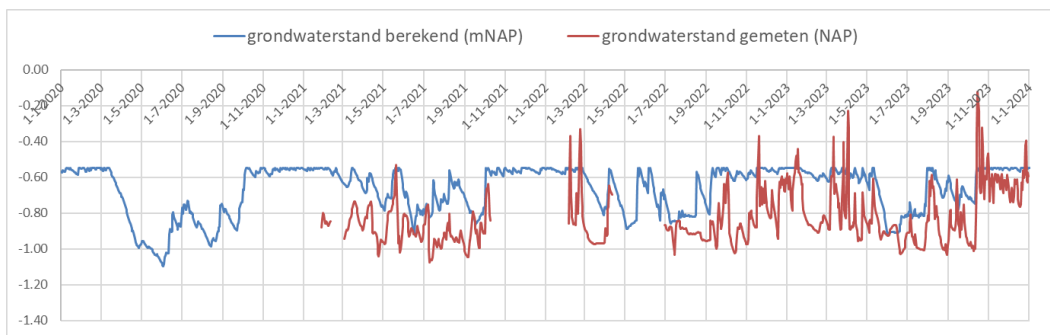
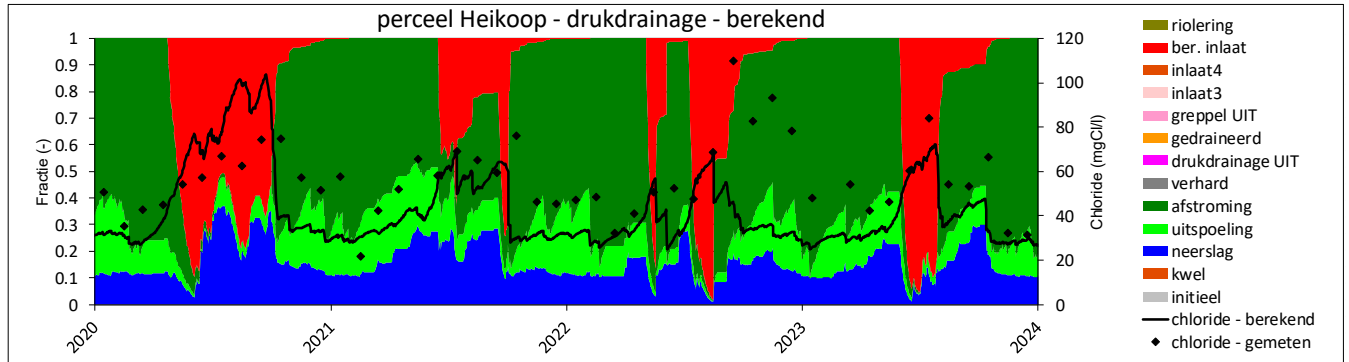
Verhoef drukdrainage gemeten

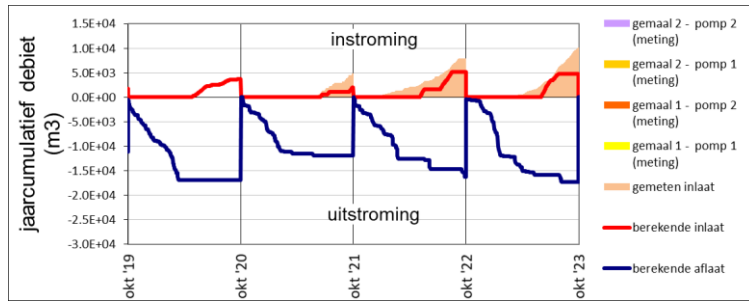


Heikoop referentie berekend



Heikoop drukdrainage berekend





Heikoop drukdrainage gemeten

